

# **Itä-Suomen pienten mafisten-ultramafisten alueiden geologia, geokemia ja malmipoten- tiaali**

Janne Vehmas

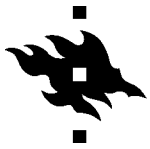
19.4. 2013

Pro Gradu -tutkielma

GEOTIETEIDEN JA

MAANTIETEEN LAITOS

HELSINGIN YLIOPISTO



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos/Institution– Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Geotieteiden ja maantieteen laitos	
Tekijä/Författare – Author			
Janne Jouko Vernerinen Vehmas			
Työn nimi / Arbetets titel – Title			
Itä-Suomen pienten mafisten-ultramafisten alueiden geologia, geokemia ja malmipotentiaali			
Oppiaine / Läroämne – Subject			
Geologia			
Työn laji/Arbetets art – Level	Aika/Datum – Month and year	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages	
Pro gradu	19.4.2013	80	
Tiivistelmä/Referat – Abstract			
<p>Itä-Suomen arkeinen alue koostuu laajoista migmatiitti-granitoidialueista sekä niiden sisäisistä vihreäkivivyöhykkeistä ja kiilleliuske-paragneissialueista. Vihreäkivet ovat potentiaalisia Ni-Cu-PGE-esiintymien isäntäkiviä. Varsinaisten vihreäkivivyöhykkeiden ulkopuolella on pienempiä ultramafisia alueita. Lieksan Tainiovaaran pieni nikkeliesiintymä on osoitus, että Ni-Cu-PGE-mineralisaatioita voi muodostua myös näille pienemmille ultramafisille alueille.</p> <p>Tutkimuskohteina on 21 pientä ultramafista aluetta Itä-Suomesta. Alueet ovat MgO-, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- ja TiO<sub>2</sub>-pitoisuuksien ja REE-pitoisuuksien perusteella luonteeltaan komatiittisia lukuun ottamatta Suolameren kohdetta. Suurin osa kohteista edustaa alumiinin suhteen köyhtymättömiä Munro-tyypin komatiitteja. Jamalin, Louhimon ja Näätävaaran kohteet edustavat mahdollisesti Al-köyhtyneitä Barberton-tyypin komatiitteja.</p> <p>Merkittävimmät muuttumisilmiöt tutkimuskohteilla ovat hydraatio ja karbonaattituminen. Tyypillinen mineraaliseurue on serpentiini + tremoliitti + kloriitti + oliviini + karbonaatti + talkki. Tyypillinen malmimineraaliseurue on Cr-pitoinen magnetiitti + pentlandiitti + magneetikiisu + kuparikiisu. Muuttumatonta kromiittia ei tavattu kivissä, mikä viittaa vähintään keskiasteen amfiboliittifasieksen metamorfoosiin.</p> <p>Tutkimuskohteiden geokemia eroaa Tainiovaarasta ainoastaan alemmilla Ni-, Cu- ja PGE-pitoisuuksilla. Tainiovaaran mineralogia on hyvin serpentiini- ja karbonaattivaltainen. Tremoliitin ja oliviinin puute viittaavat tutkimuskohteita alhaisempaan vihreäliuskefasieksen metamorfoosiin, mutta kromiittien voimakas muuttuminen viittaa amfiboliittifasieksen metamorfoosiin. Tutkimuskohteet ovat metamorfoituneet spinellikoostumusten ja mineralogian perusteella vähintään keskiasteen amfiboliittiasteen oloissa.</p> <p>Suolameren kohde poikkeaa geokemialtaan ja mineralogialtaan muista tutkimuskohteista eikä sille ole suoraa vertailukohtaa Itä-Suomen arkeiselta alueelta. Suolameri on rikastunut LREE:n ja Pd-ryhmän alkuaineiden sekä kuparin suhteen. Kohteen geologinen luonne liittyy luultavasti jollain tavalla sitä ympäröivään Koitereen sanukitoidiin.</p> <p>Kairatuista kohteista merkittävää malmipotentiaalia osoittavat Jonkerin ja etenkin Jamalin kohde. Sekä Jamalin että Jonkerin kohteilta useita näytteitä sijoittuu Ni-Cr-kuvaajassa malmipotentiaaliin oliviinikumulaattikenttään. Jamalin malmipotentiaalia tukevat lisäksi MgO-rikkaat kivet, Ni/Cr-, Cu/Zn-suhteet ja niiden yhdistelmä Kambalda-suhde sekä Eu-anomaliat osassa näytteistä. Eikairatuista kohteista lupaavimpia ovat Karhivaaran ja Jänisahon kohteet. Ne osuvat molemmat Ni-Cr-kuvaajassa malmipotentiaaliin oliviinikumulaattikenttään. Jänisahon malmipotentiaalisuutta tukevat myös Eu-anomalia REE-kuvaajassa sekä MgO-pitoiset spinellit.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
komatiitti, serpentiini, Ni-Cu-PGE-malmit, malmipotentiaali, geokemia, petrografia, malmimineralogia, spinelli,			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Geotieteiden ja maantieteen laitos			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. JOHDANTO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. KOMATIITEISTA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Komatiittivirrat.....	6
2.2. Komatiittien mineralogia .....	8
2.2.1. Oliiviini .....	8
2.2.2. Pyrokseenit.....	9
2.2.3. Kromiitti.....	9
2.2.4. Muut magmaattiset mineraalit .....	10
2.2.5. Sekundääriset mineraalit .....	11
2.3. Komatiitteihin liittyvät Ni-Cu-PGE-esiintymät .....	12
2.3.1. II-tyyppien komatiittien malmimineralogia .....	14
<b>3. ALUEELLINEN GEOLOGIA .....</b>	<b>14</b>
3.1. Kuhmon metallogeeninen alue.....	16
3.2. Tainiovaaran nikkeliesiintymä .....	17
<b>4. MENETELMÄT .....</b>	<b>19</b>
<b>5. TUTKIMUSKOhteiden KUVAUS JA AIKAISEMMA TUKIMUKSET 20</b>	
5.1. Kuhmossa sijaitsevat tutkimuskohteet.....	22
5.1.1. Särkivaara.....	22
5.1.2. Teerisuo .....	22
5.1.3. Valkealampi .....	22
5.1.4. Hamara-aho.....	22
5.1.5. Kiehu.....	22
5.1.6. Lummesuo .....	23
5.1.7. Jonkeri .....	23
5.1.8. Tervasvaara .....	25
5.1.9. Karhivaara.....	25
5.2. Sotkamossa sijaitsevat tutkimuskohteet .....	25
5.2.1. Jänisaho .....	25
5.2.2. Pyyvaara .....	26
5.2.3. Ällävaara .....	26
5.3. Valtimossa sijaitsevat tutkimuskohteet.....	26
5.3.1. Kolinvaara .....	26
5.3.2. Säkkikoski.....	27
5.4. Nurmeksessa sijaitsevat tutkimuskohteet .....	27
5.4.1. Näätävaara .....	27
5.4.2. Jurtti.....	27
5.5. Lieksassa sijaitsevat tutkimuskohteet .....	28
5.5.1. Likorinne.....	28
5.5.2. Koskivaara .....	28
5.5.3. Jamali .....	28
5.5.4. Suolameri.....	29
5.5.5. Louhimo .....	29
<b>6. TULOKSET .....</b>	<b>30</b>
6.1. Kokokivianalyysit .....	30
6.1.1. Alkuainesuhteet.....	33
6.2. PGE-analyysit.....	36
6.3. REE-analyysit.....	40
6.4. Petrografinen kuvaus.....	44
6.4.1. Särkivaara.....	44
6.4.3. Valkealampi .....	45

6.4.4. Hamara-aho.....	45
6.4.5. Kiehu.....	45
6.4.6. Lummesuo.....	46
6.4.7. Jonkeri.....	46
6.4.8. Tervasvaara.....	47
6.4.9. Karhivaara.....	47
6.4.10. Jänisaho.....	48
6.4.11. Pyyvaara.....	48
6.4.12. Ällävaara.....	48
6.4.13. Kolinvaara.....	49
6.4.14. Säkkikoski.....	49
6.4.15. Näätävaara.....	49
6.4.16. Jurtti.....	50
6.4.17. Likorinne.....	51
6.4.18. Koskivaara.....	51
6.4.19. Jamali.....	52
6.4.20. Suolameri.....	53
6.4.21. Louhimo.....	54
6.4.22. Tainiovaara.....	54
<b>6.5. Silikaattikoostumukset .....</b>	<b>55</b>
6.5.1. Oliiviniikoostumukset.....	55
6.5.2. Pyrokseenikoostumukset.....	56
<b>6.5. Malmimineralogia.....</b>	<b>57</b>
6.5.1. Sulfidit.....	58
6.5.2. Oksidit.....	63
<b>7. TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>71</b>
7.1. Tainiovaaran esiintymän geokemian vertailu muihin tutkimuskohteisiin .....	71
7.2. Tutkimuskohteiden metamorfoosiasteesta ja muuttumisesta .....	72
7.3. Suolameren kohteen geologinen luonne .....	72
7.4. Tutkimuskohteiden malmipotentiaali .....	73
<b>8. YHTEENVETO .....</b>	<b>76</b>
<b>9. KIITOKSET .....</b>	<b>76</b>
<b>10. VIITELUETTELO .....</b>	<b>78</b>

## LIITTEET:

**Liite 1. Kokokivianalyysit**

**Liite 2. PGE-analyysit**

**Liite 3. REE-analyysit**

**Liite 4. Elektronimikroanalyysit: silikaatit ja oksidit**

**Liite 5. Elektronimikroanalyysit: sulfidit**

## 1. JOHDANTO

Itä-Suomen arkeiset vihreäkivivyöhykkeet ovat potentiaalinen alue komatiittisille Ni-Cu-PGE-esiintymille. Komatiitit ovat ultramafisia vulkaniitteja, jotka kuvailtiin ensimmäisen kerran Etelä-Afrikasta Barbertonin vihreäkivivyöhykkeeltä (Viljoen ja Viljoen 1969a). Jo sitä aikaisemmin 1966 oli Länsi-Australiasta Kambaldan alueelta löytynyt suuri uudentyyppinen Ni-Cu-PGE-esiintymä (Woodall ja Travis 1969). Komatiittista Ni-Cu-PGE-malmityyppiä kutsutaan nykyään myös Kambalda-tyypin nikkelimalmiksi.

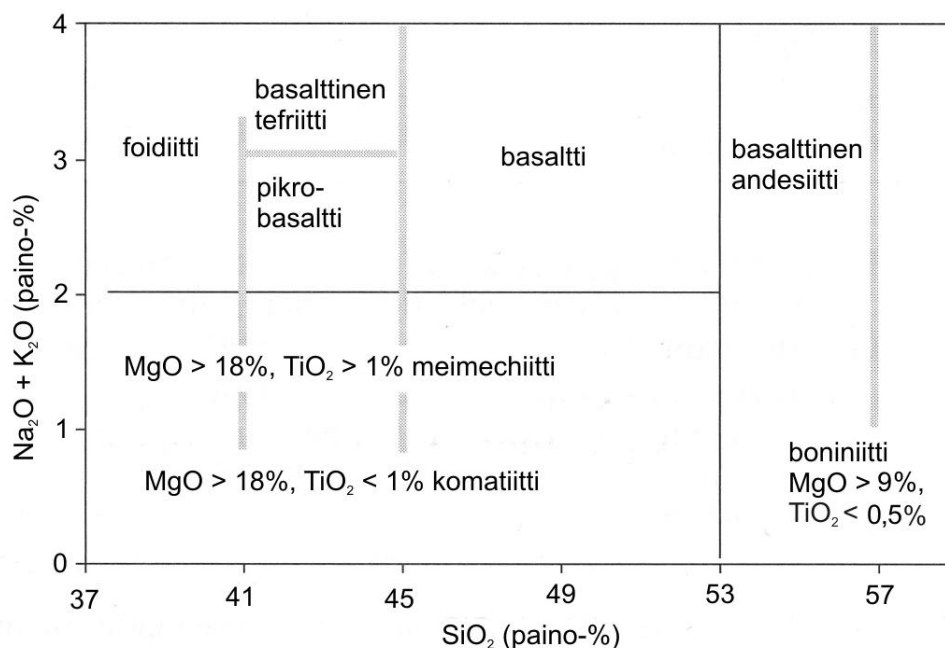
Geologian tutkimuskeskus (GTK) on arvioinut, että löytymättömien synorogeenisten intrusiivisten esiintymien ja komatiittisten esiintymien nikkeliressurssit ovat 760 000 t (Rasilainen et al. 2012). Kuhmo-Suomussalmen aluetta pidetään potentiaalisena alueena komatiittisille Ni-Cu-Co-esiintymille. Pieni Tainiovaaran nikkeliyesiintymä Lieksassa on osoitus, että komatiittisia nikkeliyesiintymiä voi olla myös varsinaisten vihreäkivivyöhykkeiden ulkopuolella. Tutkimuskohteina on 21 ultramafista aluetta (”pienoisvihreäkivivyöhykettä”), jotka sijoittuvat Itä-Suomeen Kuhmon, Nurmeksen, Lieksan, Sotkamon ja Valtimon kuntien alueelle. Tämän tutkimuksen tavoitteina on 1) varmistaa tutkimuskohteiden komatiittinen luonne, 2) kuvailla kohteiden petrografia ja geokemia, 3) ryhmitellä tutkimuskohteet geokemian ja petrografian mukaan sekä 4) arvioida kohteiden malmipotentialiaa. Menetelminä tutkielmassa on käytetty kokokivianalyyseja, mineraalianalyyseja ja ohuthieitä.

## 2. KOMATIITEISTA

Termiä komatiitti käyttivät ensimmäisen kerran Viljoen ja Viljoen (1969a) kuvaillessaan Etelä-Afrikassa sijaitsevan Barbertonin vihreäkivivyöhykkeen ultramafisia vulkaniitteja. Todisteina uudesta kivilajista he esittivät kenttähavaintoja: jäähtyneitä pintabreksioita, tyynymäisiä rakenteita, spinifex-rakenteita ja ultramafisten yksikköjen esiintymisen stratigrafista systemaattisuutta. Kemiallisesti laavat olivat muihin vulkaniitteihin verrattuna hyvin MgO-rikkaita (Viljoen & Viljoen 1969b). Niillä oli korkea CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-suhde ja alhaiset sopeutumattomien alkuaineiden pitoisuudet.

Komatiitin kemiallista määrittelyä tarkensivat Brooks ja Hart (1974). He asettivat seuraavat kemialliset kriteerit:  $\text{SiO}_2 < 53 \%$ ,  $\text{MgO} > 9 \%$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ja  $\text{TiO}_2 < 0,9 \%$  ja  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ . Näistä etenkin  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  osoittautui liian tiukaksi rajaukseksi; se rajasi pois mm. osan Barbertonin basalttisista komatiiteista (Arndt & Nisbet 1982). Nesbitt et al. (1979) esittelivät idean, että on kaksi erillistä komatiittista sarjaa, joita erottaa Al-määrä. Alumiinista köyhtyneillä komatiiteilla on korkea  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  ja alhainen  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , kun taas alumiinista köyhtymättömillä komatiiteilla on lähempänä kondriittisia arvoja olevat  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  ja  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ .

Nykyiseen komatiitin kemialliseen määritelmään kuuluvat seuraavat kriteerit:  $\text{MgO} > 18 \%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 2 \%$ ,  $\text{TiO}_2 < 1 \%$  ja  $\text{SiO}_2 < 53 \%$ . Kerr ja Arndt (2001) ehdottivat, että geokemiallisten rajoitteiden lisäksi komatiitilla tulisi olla spinifex-tekstuuri tai sen tulisi liittyä suoraan spinifex-tekstuuriin laavoihin. Le Bas (2000) loi vallitsevien geokemiallisten rajojen pohjalta luokitteludiagrammin ultramafisille ja mafisille kiville (Kuva 1). Diagrammin käyttöä rajoittaa  $\text{Na}_2\text{O}$ :n ja  $\text{K}_2\text{O}$ :n mobiili käyttäytyminen komatiiteissa (Arndt et al. 2008).



Kuva 1. Ultramafisten ja mafisten vulkaniittien luokittelu (mukaiillen Le Bas 2000).

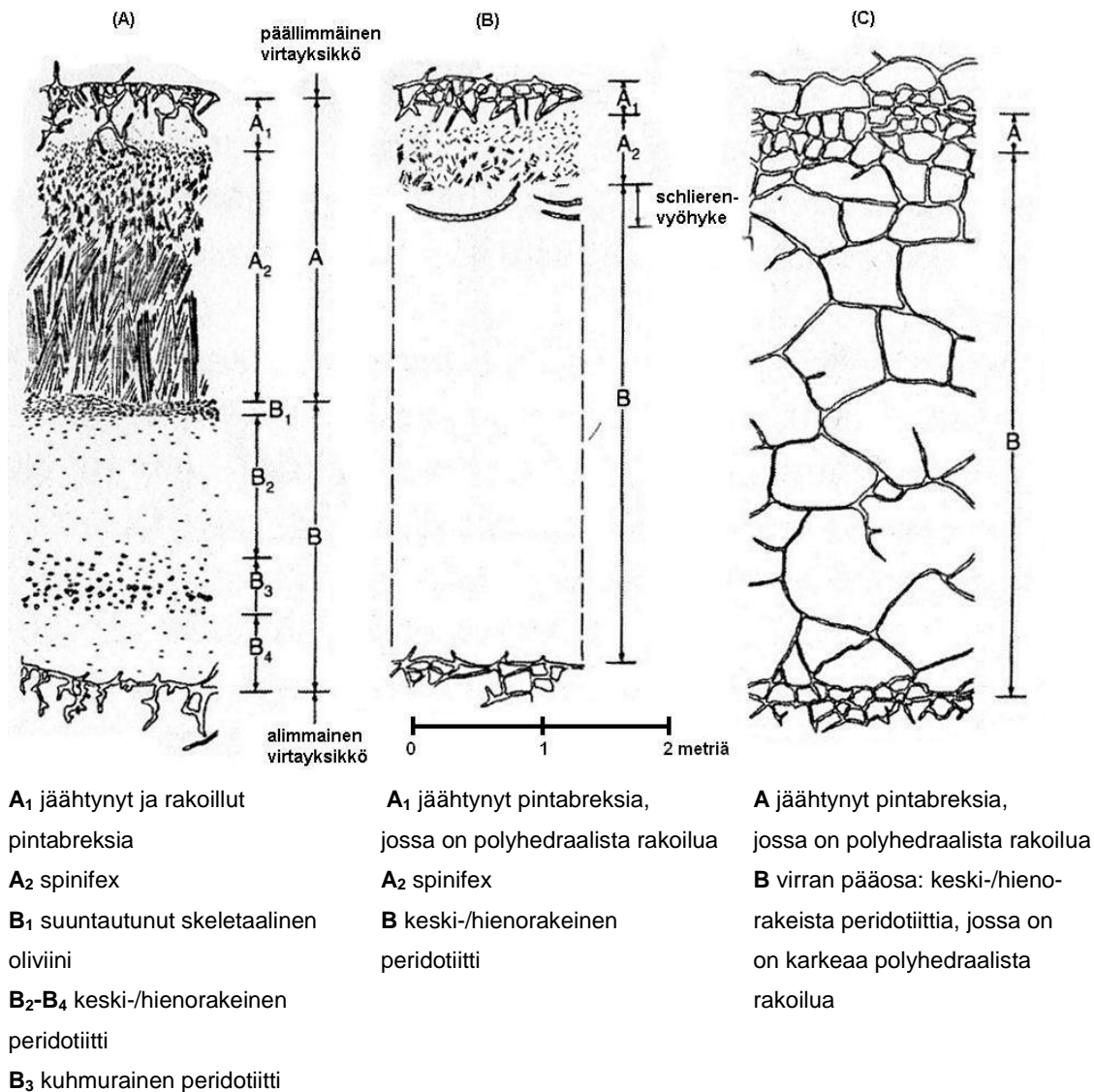
Käytännön sovelluksissa  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  tai  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  yhdistettynä HREE:n rikastumista kuvaavaan kondriittinormalisoituun Gd/Yb-suhteeseen ovat osoittautuneet hyväksi komatiittien luokittelutyökaluksi. Arndt et al. (2008) jakaa komatiitit Jahn et al. (1982) luokittelun pohjalta kolmeen ryhmään:

- (1) Barberton-tyypin komatiitit (alhainen  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , korkea  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ )
- (2) Munro-tyypin komatiitit (kondriittinen  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  ( $\approx 20$ ),  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N \approx 1$ )
- (3) Gorgona-tyypin komatiitit (korkea  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , alhainen  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ ).

Näiden lisäksi Karasjok-tyypin Fe-Ti-rikkaita komatiitteja voidaan pitää omana ryhmään (Arndt et al. 2008).

## 2.1. Komatiittivirrat

Komatiittivirrat jaetaan paksuihin ja ohuihin virtoihin. Ohuista komatiittivirroista erotetaan kolme perustyyppiä: täysin differentioitunut, osin differentioitunut ja differentioitumaton tyyppi (Arndt et al. 2008) (Kuva 2). Täysin differentioituneessa virrassa on spinifex-tekstuurinen yläosa ja oliviniinikumulaattinen alaosa (Kuva 2A). Osin differentioituneessa virrassa spinifex-kerros on heikommin kehittynyt ja alaosan oliviinit ovat löyhemmin pakkautuneita verrattuna enemmän differentioituneen tyyppiin (Kuva 2B). Täysin differentioitumaton virta on massiivinen, ei-kerroksellinen ja polyhedraalisesti rakoillut (Kuva 2C).



Kuva 2. Ohuiden komatiittivirtojen perustyyppit: (A) täysin differentioitunut virta, (B) osin differentioitunut virta ja (C) täysin differentioitumaton virta (Mukaillen Arndt et al. 2008).

Paksujen duniittisten komatiittivirtojen koko vaihtelee pienemmistä 0,5–2 km leveistä ja 200–700 m paksuista linsseistä laajoihin levymäisiin esiintymiin (Arndt et al. 2008). Virrat ovat yleensä vyöhykkeisiä. Ytimet koostuvat massiivisista lähes pelkästään oliviinia sisältävistä oliviiniadkumulaateista. Reunaosat muodostuvat oliviini ± pyrokseeni ± amfibolimeso- ja ortokumulaateista. Fraktioituneissa laavapatjoissa oliviiniadkumulaatin ja meso- ja ortokumulaattien yläkontaktissa voi esiintyä karkearakeista, haaramaista ja skeleettista harrisiittista oliviinia sisältäviä kerroksia. Fraktioituneilla duniittisilla virroilla on myös sisäistä kerroksellisuutta: esimerkiksi Australian Mt Keithissa adkumulaattiytimen päällä vuorottelevat oliviiniortokumulaatti-, harrisiitti-, pyrokseeni- ja gabrokerrokset.



## 2.2. Komatiittien mineralogia

Muuttumattomien komatiittien mineralogia on hyvin yksinkertainen (Arndt et al. 2008). Oliiviini, kromiitti, pyrokseenit ja vulkaaninen lasi ovat päämineraalit suurimmassa osassa komatiiteista. Luonnossa komatiitit ovat tosin lähes aina muuttuneita. Sekundääriset mineraalit korvaavat alkuperäisiä magmaattisia mineraaleja. Oliiviini korvautuu kloriitilla tai serpentiinillä ja pyrokseenit tremoliitilla ja kloriitilla. Lasi on muuttunut täysin sekundäärisiksi vesipitoisiksi mineraaleiksi. Vaikka muuttuminen on voimakasta, jää kiven alkuperäinen tekstuuri usein näkyviin, jolloin alkuperäinen mineralogia voidaan päätellä. Enemmän muuttuneissa näytteissä uudelleenkiteytyminen voi poistaa alkuperäisen tekstuurin täysin, jolloin alkuperäisen mineralogian ja tekstuurin selvittäminen tulee mahdottomaksi. Tällöin kiven komatiittisen alkuperän varmentaminen on tekstuurin avulla vaikeaa.

### 2.2.1. Oliiviini

Oliiviini kattaa komatiittien primäärisestä mineralogiasta 40–80 tilavuusprosenttia (Arndt et al. 2008). Oliivinilla on komatiiteissa viisi eri morfologista tyyppiä:

- (1) Hopper-oliiviini muodostuu ekvidimensionaalisista tai pitkittäisistä ontoista kiteistä.
- (2) Laattamainen oliiviini muodostuu [010]-suuntaisista ohuista samansuuntaisesti pinotuista laattamaisista kiteistä.
- (3) Haarainen oliiviini on laattamaisen oliivinin muoto, jossa useista eri nukleatiopisteistä erkanee uusia kidehaaroja.
- (4) Monikulmioinen oliiviini; ekvidimensionaalisia tai laattamaisia omamuotoisia kiteitä, joissa ei ole sulkeumia.
- (5) Granulaarinen oliiviini koostuu ekvidimensionaalisista pallomaisista kiteistä.

Oliivinin morfologinen tyyppi määräytyy jäähtymisnopeuden ja kiteytymisolosuhteiden perusteella (Arndt et al. 2008). Alhainen jäähtymisnopeus ja/tai alhaisen asteen alijäähtyminen johtaa monikulmioisten ja granulaaristen oliivinien syntyyn, kun taas korkea jäähtymisnopeus ja/tai korkean asteen alijäähtyminen muodostaa hopper-oliiviineja ja

laattamaisia oliviineja. Kiteytymisolot johtuvat laavavirran koosta, morfologiasta, purkautumisympäristöstä sekä ennen kaikkea kehittyvien rakeiden sijainnista virran sisällä. Differentioituneen virran alaosan oliviinit ovat etupäässä granulaarisia ja monikulmioisia. Nämä kiteet muodostuivat alhaisen jäähtymisnopeuden oloissa joko purkauksen ja virtauksen aikana (muodostuminen hajarakeina) tai virran alaosassa (in-situ kiteytyminen). Hopper-oliviinit ovat vallitseva tyyppi joissain porfyirisissä laavoissa sekä B<sub>1</sub>-kerroksessa, kun taas skeletaaliset oliviinit hallitsevat laavojen spinifex-osissa.

### 2.2.2. Pyrokseenit

Komatiiteissa ja komatiittisissa basalteissa esiintyy kolmea eri pyrokseenia: augiittia, pigeoniittia ja ortopyrokseenia (Arndt et al. 2008). Pyrokseenin muototyyppejä ovat (1) suuret skeletaaliset megakiteet (lähinnä spinifex-laavoissa), (2) omamuotoiset tai osittain omamuotoiset prismaattiset kumulusrakeet (differentioituneiden basalttisten virtausten alaosat), (3) pienet prismaattiset, neulamaiset, dendriittiset ja sulkamaiset yhteenkasvettumat (spinifex-, kumulaatti- ja porfyriisten laavojen matriksissa). Kerroksellisten komatiittisten-basalttisten virtausten kumulaatti- ja gabro-osien pyrokseenit muistuttavat normaalien mafisten virtausten pyrokseeneja. Kiteet ovat omamuotoisia tai osittain omamuotoisia ja prismaattisia, ja hallitsevana pyrokseeneina ovat augiitti ja enstatiitti.

### 2.2.3. Kromiitti

Kromiitti esiintyy skeletaalisina rakeina spinifex-laavoissa, pieninä kuutioina tai kahdeksankulmioina spinifex-, kumulaatti- ja porfyriittisissä laavoissa sekä interstitiaalisena tai poikiliittisena vierasmuotoisina rakeina duniittiyksiköissä (Arndt et al. 2008). Kumulaattiyksiköissä isäntäkiven forsteriittipitoisuus kontrolloi kromiitin esiintymistä (Barnes ja Hill 1995). Alle 91 mooliprosenttia forsteriittia sisältävissä yksiköissä kromiitti on omamuotoista. 91–93 mooliprosenttia forsteriittia sisältävissä yksiköissä kromiitti esiintyy interstitiaalisena. Yli 93 mooliprosenttia forsteriittia sisältävissä yksiköissä kromiittia ei tyypillisesti esiinny ollenkaan. Komatiittien kromiittipitoisuudet ovat usein alle 1 % ja ylittävät vain harvoin 2 - 3 % (Arndt et al. 2008). Differentioituneissa virroissa kromiitti on yleisempää spinifex-laavoissa kuin kumulaattiosassa.

Kromiittien ja muiden spinellien koostumukseen vaikuttaa sekä primääriset magmaprosesseihin liittyvät tekijät että sekundääriset tekijät kuten muuttuminen ja metamorfoosi (Barnes 1998, Barnes 2000). Muuttumattoman kromiitin koostumus komatiitissa riippuu kolmesta tekijästä:

- 1) magman koostumuksesta ja kiteytymisoloista johtuvasta primäärisestä vaihtelusta
- 2) kromiitin ja interkumulusnesteen (post-kumulus-)super-solidus-reaktiosta
- 3) kromiitin ja oliviinin post-kumulus-sub-solidus-uudelleentasapainottumisesta.

Primäärisen vaihtelun vaikutus näkyy ohuiden virtojen kromiittien korkeampana  $\text{Fe}^{3+}$ - ja Mg-pitoisuutena paksuihin duniittiyksikköihin verrattuna. Kromiitin ja interkumulusnesteen super-solidus-reaktio köyhdyttää kromiitteja  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ -luvun (ja rikastuttaa  $\text{Fe}^{3+}$ :n) suhteen verrattuna kromiin ja alumiiniin.

Metamorfiset prosessit vaikuttavat komatiittien kromiittien koostumuksiin etenkin yli 500 °C lämpötiloissa (Barnes 2000). Amfiboliittifasiyksessä metamorfoitunut kromiitti on rikastunut raudan ja sinkin suhteen ja köyhtynyt nikkelin suhteen verrattuna alhaisemman asteen metamorfoosin läpikäyneisiin kromiitteihin. Amfiboliittifasiyksessä kromiitti korvautuu voimakkaasti magnetiitilla.

#### *2.2.4. Muut magmaattiset mineraalit*

Plagioklaasia esiintyy harvoin arkeisissa komatiiteissa, mutta se on yleinen mineraali monissa komatiittisissa basalteissa (Arndt et al. 2008). Magmaattinen amfiboli on harvinainen mineraali komatiiteissa. Boston Creekin rautarikkaasta komatiitissa magmaattinen amfiboli esiintyy pohjaosan jäähtymisvyöhykkeissä ja oliviinikumulaattikerroksissa (Stone et al. 2003). Muita komatiiteista löydettyjä magmaattisia mineraaleja on ilme-niitti, Al-spinelli ja Ni-Fe-sulfidit (Arndt et al. 2008). Komatiittien malmimineralogia käsitellään erikseen kappaleessa 2.3. Vulkaaninen lasi on vain hyvin harvoin säilynyt 2-3 miljoonaa vuotta vanhoissa komatiittisissa laavoissa (Arndt et al. 2008). Muutamissa erityisen hyvin säilyneissä komatiiteissa lasia on kuitenkin säilynyt perusmassassa sekä oliviinin ja/tai kromiitin sulkeumina (Echeverría 1980, Nisbet et al. 1987, McDonough

ja Ireland 1993, Shimizu et al. 2001).

### 2.2.5. Sekundääriset mineraalit

Lähes kaikki komatiitit ovat käyneet läpi vähintään alhaisen asteen metamorfoosin, ja sisältävät sekundäärisiä vesipitoisia mineraaleja sekä karbonaattia (Beswick 1982). Hydraatiota ja karbonaattiutumista aiheuttavien liuosten hajottaessa primäärisiä mineraaleja ne kuljettavat ja vaihtavat myös muita komponentteja. Tästä johtuen kaikki metamorfoituneet komatiitit ovat myös jossain määrin kemiallisesti muuttuneita. Sekundääristen mineraalien koostumukset komatiiteissa riippuvat metamorfoosiasteesta sekä laavan mineralogiasta ja kokonaiskoostumuksesta (Taulukko 1) (Arndt et al. 2008). Esimerkiksi oliviini korvautuu laavan MgO-pitoisuudesta riippuen joko kloriitilla (MgO < 25 %), serpentiinillä (MgO 25–35%) tai serpentiinillä ja brusiitilla (MgO > 35 %).

Taulukko 1. Spinifex- ja kumulaattikomatiittien mineraaliseurueet eri metamorfoosiasteissa (mukaillen Hill et al. 1988 ja Pirajno 2000).

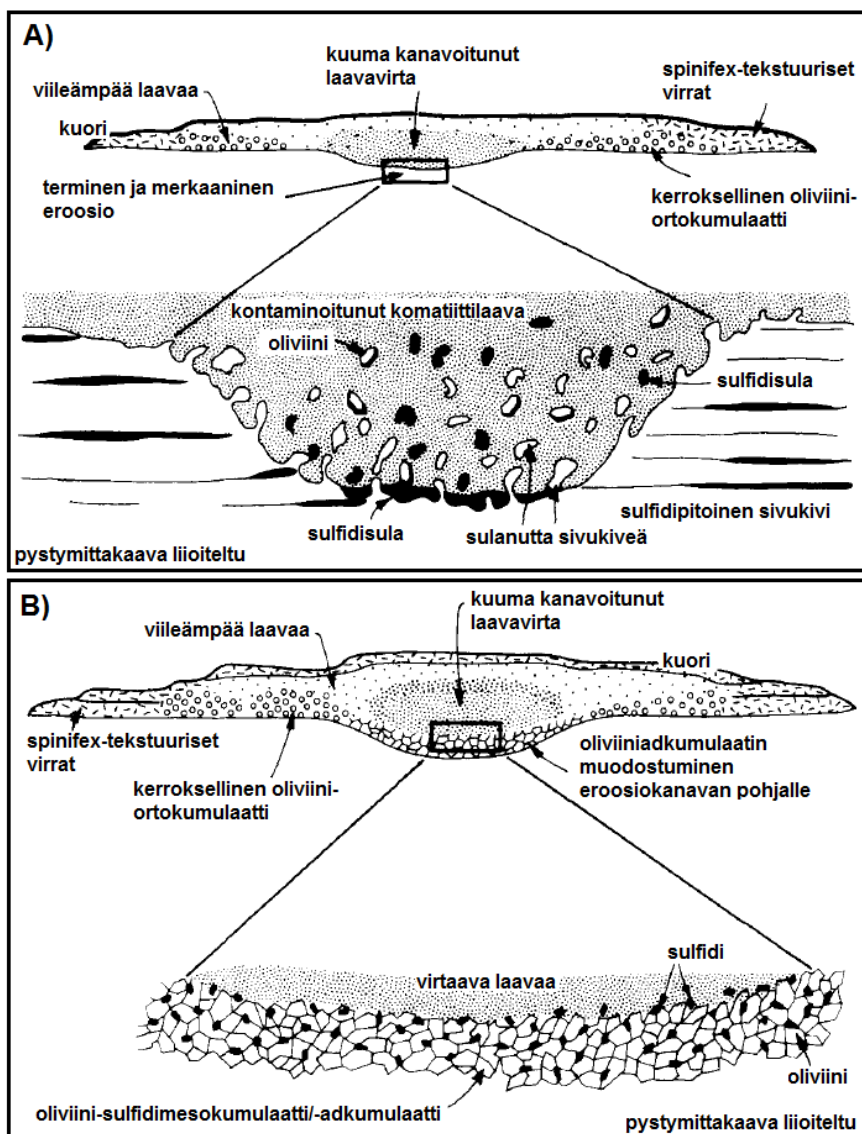
Metamorfinen aste	spinifex-tekstuurinen (MgO 25–34 paino-%)	oliivinimesokumulaatti (MgO 34–45 paino-%)	oliiviniadkumulaatti (MgO 45–52 paino-%)
Prehniitti-pumpellyiitti	<b>Hajarakeet:</b> lizardiitti + kloriitti + magnetiitti (korvaa oliviinilevyjä) <b>Perusmassa:</b> savi, kloriitti, albiitti, relikti pyrokseeni ja skeleettinen kromiitti	<b>Hajarakeet:</b> lizardiitti + kloriitti + magnetiitti (korvaa kumulusoliviinia) <b>Perusmassa:</b> kloriitti, savet, albiitti ja reliktipyrokseeni	Lizardiitti + serpentiini, magnetiitti, aksessorinen kloriitti; reliktinen maattainen oliviini ja kromiitti
Vihreäliuske	<b>Hajarakeet:</b> kloriitti + antigoriitti + magnetiitti (korvaa spinifex-oliviinia) <b>Perusmassa:</b> kloriitti + tremoliitti-aktinoliitti ja reliktipyrokseeni	<b>Hajarakeet:</b> antigoriitti + kloriitti + magnetiitti (korvaa oliviinia), kuitumainen amfiboli (korvaa reliktipyrokseenia) <b>Perusmassa:</b> kloriitti + tremoliitti-aktinoliitti	Antigoriitti + brusiitti; magnetiittisuonia; aksessorinen kloriitti + tremoliitti, reliktikromiitti
Amfiboliitti	Tremoliitti-kloriittiyhteenkasvettumia, kummingtoniitti, talkki, magnetiittirakeiden rajaama spinifex-tekstuuri	Tremoliitti + kloriitti + metamorfinen oliviini (porfyroblasteina) + talkki; antofylliitti tai enstatiitti korkeammissa asteissa	Metamorfinen oliviini (läpinäkyvä, granulaarinen) + reliktinen maattainen oliviini ja kromiitti; aksessorinen kloriitti + tremoliitti + talkki, antofylliitti tai enstatiitti

### 2.3. Komatiitteihin liittyvät Ni-Cu-PGE-esiintymät

Komatiittiset Ni-Cu-PGE-esiintymät liittyvät paksuihin kumulaattivaltaisiin laavavirtoihin ja niihin liittyviin puolipinnallisiin intruusioihin. Leshar ja Barnes (2008) jakavat esiintymät viiteen tyyppiin, joista tyypit I ja II ovat taloudellisesti merkittävimmät.

- Tyyppi I: korkean malmipitoisuuden massiiviset ja verkkotekstuurisiet sulfidit komatiittiyksikköjen pohjaosissa (ns. Kambalda-tyyppi)
- Tyyppi II: alhaisen malmipitoisuuden pirotesulfidit paksujen duniittikappaleiden ytimissä (ns. Mt Keith –tyyppi)
- Tyyppi III: stratiformit PGE-rikastuneet kerrokset differentioituneissa virroissa
- Tyyppi IV: mineralisaatiot komatiittien läheisyydessä olevissa sulfidirikkaisissa sedimenteissä
- Tyyppi V: tektonisesti muokatut alkuperäiseltä paikaltaan siirtyneet mineralisaatiot

Itä-Suomen tunnetut arkeiset Ni-Cu-PGE-mineralisaatiot edustavat tyyppijä II (Tainiovaara, Vaara, Peura-aho ja Hietaharju) ja V (Sika-aho, Arola ja Kauniinlampi) (Makkonen ja Halkoaho 2007). Tämän työn tutkimuskohteet edustavat etupäässä II-tyypin esiintymiä. Tyypin I ja II syntymekanismit on esitetty Kuvassa 3.



Kuva 3. A) Termomekaaninen eroosio vaikuttaa laavakanavan pohjan sulfidipitoisiin kiviin muodostaen I-tyypin massiivisen esiintymän. B) Oliiviinin ja sulfidisulan jatkuva kotektinen kasautuminen ja suuren II-tyypin esiintymän synty. (mukaillen Dowling ja Hill 1998)

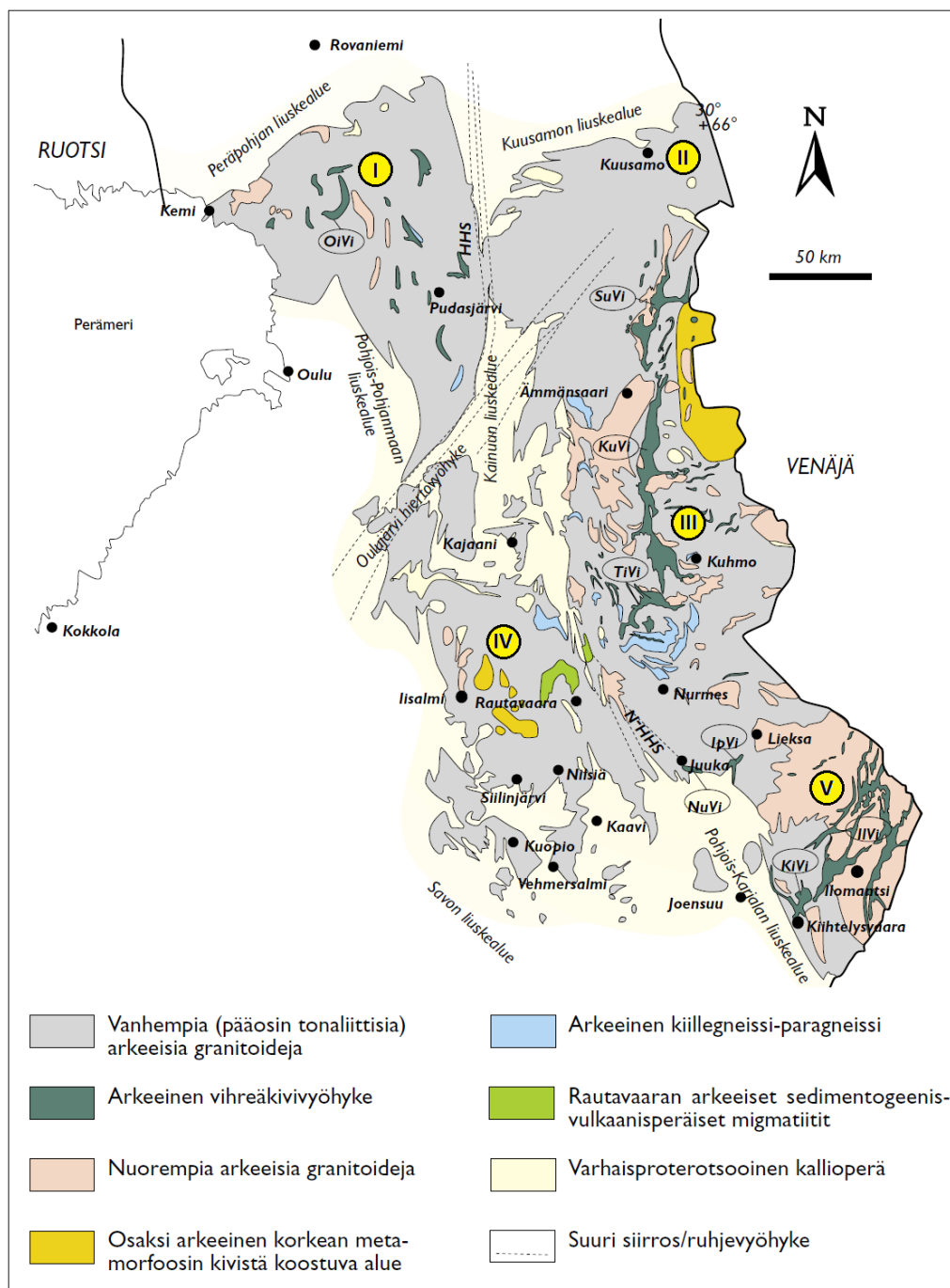
Leshar ja Keays (2002) jakavat II-tyypin esiintymät kolmeen alatyyppeihin: Ila (blebby), I Ib (interstitial) ja I Ic (cloudy). I Ib-tyyppi on näistä taloudellisesti merkittävin. I Ib-tyypin esiintymät muodostuvat hienorakeisesta pirootteesta duniittikappaleiden ytimissä. Tyypit I Ia ja I Ic ovat I- ja I Ib-tyypin esiintymiin usein liittyviä vähäpätöisempiä esiintymiä duniittikappaleiden ytimissä. I Ia-tyypissä sulfidi esiintyy karkeina pallomaisina sulfidikasaumina (englanniksi blebs). I Ic-tyypissä pirote on hyvin hienorakeista. Kaikki II-tyypin esiintymät muodostuvat kumulaatti-isäntäkiven kiteytyessä.

### *2.3.1. II-tyyppin komatiittien malmimineralogia*

II-tyyppin komatiittiset Ni-Cu-PGE-mineralisaatiot ovat malmigeologialtaan I-tyyppin massiivisia ja verkkotekstuurisista mineralisaatioita vaihtelevampia (Leshar ja Keays 2002). Sulfidiseurueeltaan ne ovat tyypillisesti I-tyyppiä nikkelikkaampia. Tyypillinen sulfidiseurue riippuu muuttumisvoimakkuudesta ja -tavasta. Muuttumattomalla IIB-tyyppin komatiitilla seurue muodostuu pelkästään pentlandiitista. Osin serpentiniittineellä komatiitilla seurue on pentlandiitti-haezlewoodiitti-magnetiitti, kun taas voimakkaammin serpentiniittineellä komatiitilla seurue on magneetikiisu-pentlandiitti ± rikkikiisu (musta lizardiittiserpentiniitti) tai joko magneetikiisu-pentlandiitti tai pentlandiitti-milleriitti (vihreä antigoriittiserpentiniitti). Talkki-karbonaattikiveksi muuttuneella komatiitilla seurue on magneetikiisu-rikkikiisu-pentlandiitti tai rikkikiisu-milleriittipolydymiitti. Kromiitti ja kuparikiisu ovat yleisiä aksessorisia faaseja II-tyyppin komatiiteissa.

## **3. ALUEELLINEN GEOLOGIA**

Suomen arkeinen kallioperä koostuu laajoista migmatiitti-granitoidialueista ja niiden sisäisistä alun perin vulkaanogeenisistä vihreäkivivyöhykkeistä ja sedimentogeenisistä kiilleliuske-paragneissialueista (Luukkonen ja Sorjonen-Ward 1998). Itä- ja Keski-Suomen arkeinen alue jaetaan yhteensä 5 terraaniin (Kuva 4) (Sorjonen-Ward ja Luukkonen 2005). Tämän opinnäytteen tutkimuskohteet sijaitsevat Suomen arkeisen alueen eteläosassa Kiannan ja Ilomantsin terraaneissa.



Kuva 4. Keski- ja Itä-Suomen arkeiset terraanit: I Ranuan terraani, II Koillismaan terraani, III Kiannan terraani, IV Iisalmen terraani ja V Ilomantsin terraani. HHS = Hirvakosken siirrosvyöhyke. N-HHS = Nunnalahti-Holinmäki hiertovyöhyke. Arkeiset vihreäkivivyöhykkeet: OiVi = Oijärven vihreäkivivyöhyke, SuVi = Suomussalmen vihreäkivivyöhyke, KuVi = Kuhmon vihreäkivivyöhyke, TiVi = Tipasjärven vihreäkivivyöhyke, NuVi = Nunnalahden vihreäkivivyöhyke, IpVi = Ipatin vihreäkivivyöhyke, KiVi = Kiihtelysvaaran vihreäkivivyöhyke (Koveron liuskejakso), IiVi = Ilomantsin vihreäkivivyöhyke (Hatun liuskejakso). (mukaillen Luukkonen ja Sorjonen-Ward 1998 sekä Sorjonen-Ward ja Luukkonen 2005)

Kiannan terraani koostuu noin 200 km pitkästä, mutta yleisesti alle 10 km leveästä, Suomussalmen, Kuhmon ja Tipasjärven vihreäkivivyöhykkeiden muodostamasta poh-



jois-eteläsuuntaisesta vihreäkiviketjusta ja sen itä- ja länsipuolen granitoideista ja migmatiiteista (Sorjonen-Ward ja Luukkonen 2005). Vihreäkivivyöhykkeiden reunat koostuvat 3000–2800 Ma metavulkaniiteista ja keskiosat pääosin 2800–2750 Ma tholeiittisista ja komatiittisista metavulkaniiteista (Halkoaho ja Eilu 2012). Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen eteläosassa ja Tipasjärven vihreäkivivyöhykkeen pohjoisosassa tavataan lisäksi laajalti metasedimenttejä. Kiannan ja Iisalmen terraanin välinen raja on epäselvä Iisalmen terraanin itäosan voimakkaan deformaation vyöhykkeen vuoksi.

Ilomantsin terraani muodostuu Hatun, Koveron, Nunnanlahden ja Ipatin vulkaanisista vyöhykkeistä, niihin liittyvistä granitoideista sekä länsiosan porfyriittisistä granitoideista (Lieksan kompleksi) (Sorjonen-Ward ja Luukkonen 2005). Hatun liuskejaksoa on hyvin tutkittu sen kultapotentialin vuoksi (Nurmi ja Sorjonen-Ward 1993). Koveron liuskejakso näyttäisi olevan jatkoa Hatun liuskejaksolle (Sorjonen-Ward ja Luukkonen 2005). Jatkuvuutta ei ole tosin vielä saatu varmennettua ajoituksella. Yleisimpiä kivilajeja Koveron liuskejaksossa ovat Fe-riikkaat tholeiittiset basaltit ja niihin monin paikoin liittyvät Mg-riikkaat tholeiittiset basaltit sekä muuttuneet komatiittiset oliviinikumulaatit. Ilomantsin terraanin länsirajan pienet Ipatin ja Nunnanlahden vihreäkivivyöhykkeet ovat litistyneet proterotsooisten liikuntojen vaikutuksesta proterotsooisen Pohjois-Karjalan liuskealueen ja arkeisten granitoidien väliin. Ipatin vihreäkivivyöhykkeen pääkivilajit ovat vulkaniitti- ja sedimenttiperäiset tuffit, tuffiitit ja kiilleliuskeet. Nunnanlahden vihreäkivivyöhyke koostuu pääosin tholeiittisista basalteista, ultramafiiteista (vuolukivi, serpentiniitti, tremoliittikivi ja kloriittiliuske) ja intermediäärisistä ja happamista vulkaniiteista.

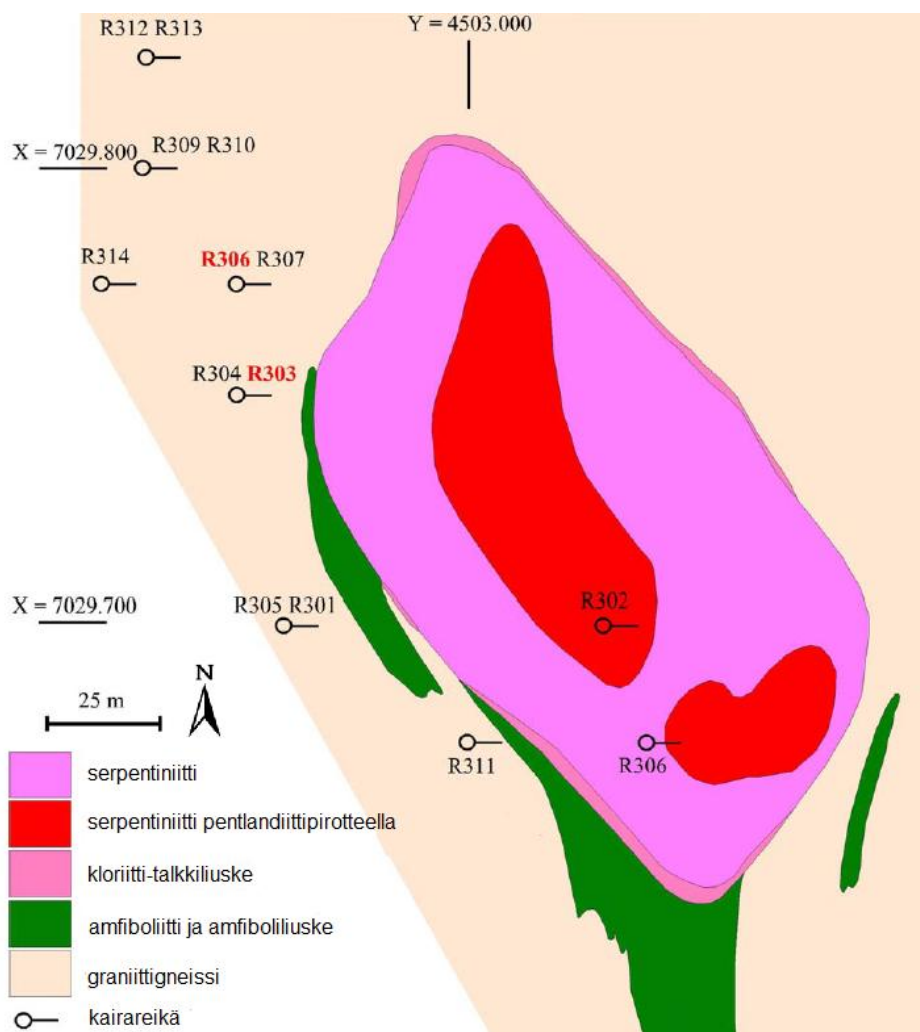
### **3.1. Kuhmon metallogeeninen alue**

Kuhmon metallogeeninen alue on pohjois-eteläsuuntainen tyypillisesti alle 10 km leveä vyöhyke, joka koostuu arkeisista Tipasjärven, Kuhmon ja Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeistä ja niiden välittömistä sivukivistä (Halkoaho ja Eilu 2012). Koska tämän opinnäytteen tutkimuskohteista osa edustaa oletettavasti näiden vihreäkivivyöhykkeiden jatkeita, on perusteltua käydä läpi Kuhmon metallogeenisen alueen pääpiirteet.

Kuhmon metallogeenisen vyöhykkeeltä voidaan erottaa kolme malmityyppiä: 1) komatiiteihin liittyvä Ni(-Cu-PGE), 2) orogeeninen kulta ja 3) VMS- tai epiterminen Ag-Zn-Pb (Halkoaho ja Eilu 2012). Näiden malmityyppien kannalta potentiaaliset alueet ovat pääosin päällekkäisiä. Vihreäkivivyöhykkeillä tavataan myös pieniä magnetiitti-kvartsi- ja sulfidi-kvartsikoostumuksellisia raitaisia rautamuodostumia (BIF). Kuhmon metallogeenisen alueen nikkeliesiintymät voidaan jakaa kolmeen geneettiseen ryhmään: 1) normaalit magmaattiset komatiitti- tai komatiittinen basaltti –esiintymät (Leshar ja Barnes 2008, tyyppi II), 2) tektonisesti primääriseltä paikaltaan siirtyneet esiintymät (Leshar ja Barnes 2008, tyyppi V) ja 3) monimetalliset hydrotermisiä esiintymiä muistuttavat esiintymät. Tunnetut 1)-tyypin esiintymät (Vaara, Peura-aho, Hietaharju ja Tainiovaara) sijoittuvat Tainiovaaraa lukuun ottamatta tämän työn tutkimusalueen ulkopuolelle Suomussalmen vihreäkivivyöhykkeeseen.

### **3.2. Tainiovaaran nikkeliesiintymä**

Tainiovaaran nikkeliesiintymä sijaitsee vihreäkivialueella (”minivihreäkivivyöhykkeessä”) 7 km koilliseen Lieksan keskustasta (Makkonen ja Halkoaho 2007). Isäntäkivi on 180 m pitkä ja 80 m leveä komatiittinen serpentiniittilinssi (oliviinimesokumulaatti) (Kuva 5). Serpentiniitin mineraaliseurue on serpentiini + talkki + kloriitti + karbonatiitti + tremoliitti + opaakit (Vanne 1981). Tremoliitin määrä lisääntyy linssin kontakteja kohti etenkin kattopuolella. Serpentiniittilinssin kontaktissa on vaihtelevan paksuinen talkki-kloriittiliuskekuori. Sivukivinä on arkeeista tonaliittigneissia ja amfiboliittia.



Kuva 5. Tainiovaaran komatiittisen nikkeliesiintymän ja sen lähialueen kivilajit. Tässä tutkimuksessa käytetyt analyysit ja ohuthieet ovat punaisella merkityistä kairasydämistä. (mukaillen Pekkarinen 1980 ja Makkonen ja Halkoaho 2007).

Esiintymä sijaitsee linssin keskellä ja on pääosin pirotetyyppiä, mutta myös verkkotektuurista ja massiivista malmia tavataan (Papunen 1989). Päämalmimineraalit ovat magneetikiisu ja pentlandiitti. Muita tavattuja malmimineraaleja ovat kuparikiisu, magneetiitti, ilmeniitti, kromiitti ja rikkikiisu. Malmivarat ovat 0,45 Mt, jossa on 0,4 % Ni, 0,03 % Cu, 0,01 Co (Vanne 1981). Pirotomalmissa PGE-pitoisuudet ovat vähäisiä (0,1–0,3 ppm). Massiivisessa tyypissä ne ovat korkeampia (jopa 1,5 ppm) (Papunen 1989). Vuonna 1989 Outokumpu Oy louhi pienen osan esiintymästä: tuotanto oli n. 20 000 t, jossa oli 1,4 % Ni ja 0,12 % Cu (Puustinen et al. 1995).

#### 4. MENETELMÄT

Kaikista tutkimuskohteista on tehty aikaisempien tutkimusten yhteydessä kokokivianalyysit. PGE-analyysi oli valmiiksi Lummesuon ja Suolameren kohteelta ja REE-analyysi Lummesuosta, Suolamerestä, Jamalista ja Jurtista. Muista kohteista teetettiin PGE- ja REE-analyysi tätä opinnäytettä varten. Ennen 2007 vuotta tilatut analyysit teki GTK:n Geolaboratorio. Uudet 2010–2011 teetetyt analyysit (kaikki Suolameren, Louhimon ja Lummesuon analyysit sekä uudet PGE- ja REE-analyysit) teki Labtium Oy.

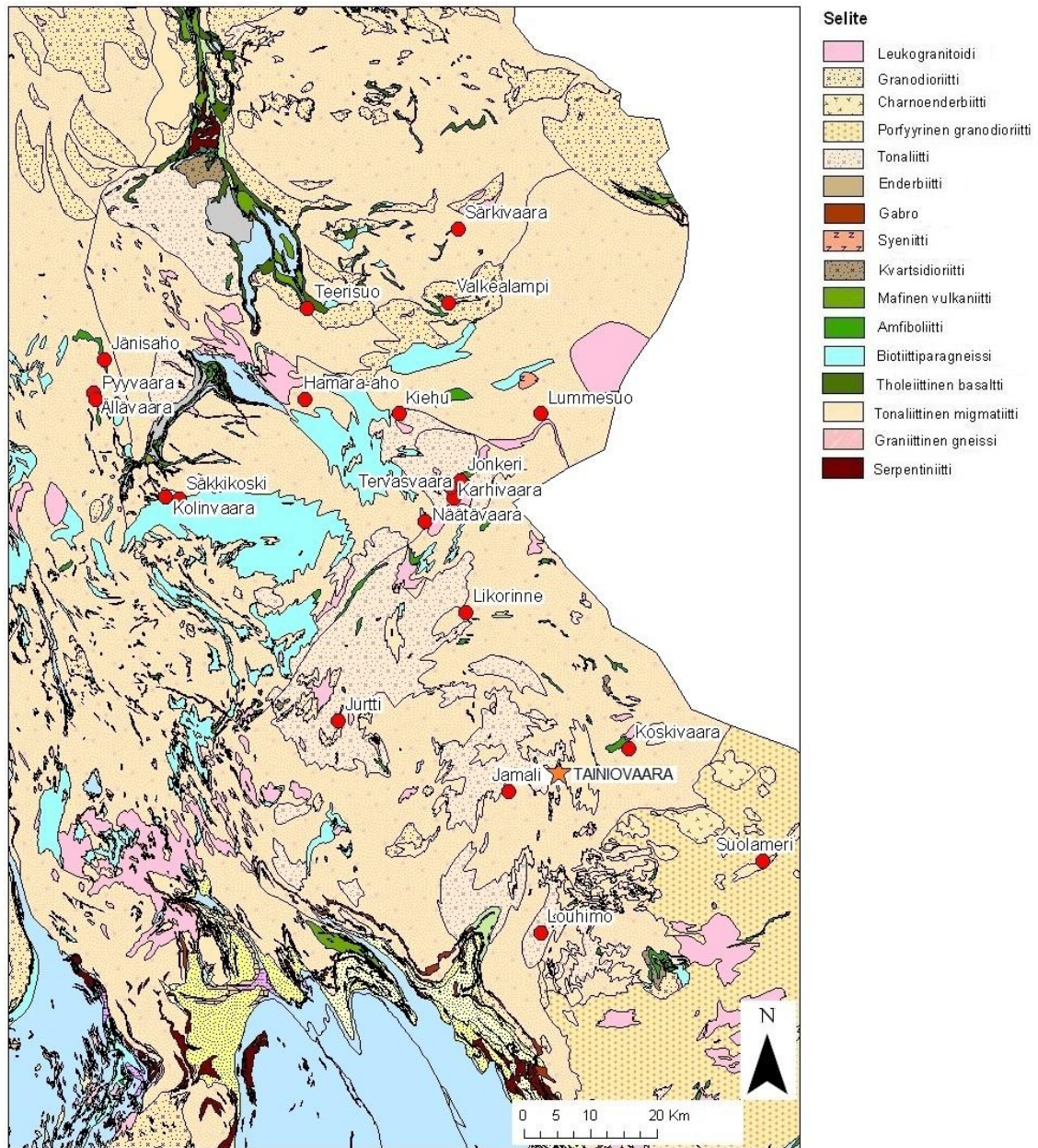
Kairasydännäytteet on halkaistu sahaamalla timanttilaikalla. Saatu näytteen puolikas on murskattu (menetelmä 30) tai hienomurskattu ( $>70\%$ ,  $<2\text{ mm}$ ) (menetelmä 31) mangaaniteräsleuoilla. Erillinen ositus on suoritettu rännijakolaitteella (menetelmä 35). Osituksen jälkeen näytteet on jauhettu karkaistussa hiiliteräsjauhinastiassa (menetelmä 40) tai volframikarbidijauhinastiassa (menetelmä 43). Kokokivianalyysit tehtiin puristetuista jauhepelleteistä aallonpituusdispersiivisellä röntgenfluoresenssispektrometrillä (XRF, GTK:n Geolaboration/Labtium Oy:n analyysimenetelmä 175X). Lisäksi näytteistä analysoitiin hiili hiilianalyssaattorilla (GTK:n Geolaboration/Labtium Oy:n analyysimenetelmä 811L). REE-alkuaineet määritettiin GTK:n Geolaboration analyysimenetelmällä 307Ma (fluorivety- ja perkloorihappoliuotus ja alkuaineiden määrittäminen ICP-MS-tekniikalla) tai Labtium Oy:n analyysimenetelmällä 308M (fluorivety- ja perkloorihappoliuotus sekä sulate ja alkuaineiden määrittäminen ICP-MS-tekniikalla). Platinaryhmän metallit (Os, Ir, Ru, Rh, Pt, Pd +Au) määritettiin Labtium Oy:n analyysimenetelmällä 714M (nikkelisulfidirikastus/telluuri-kerasaostus).

Jokaisesta tutkimuskohteesta (mukaan lukien vertailukohteena toimivasta Tainiovaarasta) teetettiin vähintään yksi kiillotettu ohuthie serpentiniitistä tai serpentiinitremoliittikivestä, jos niistä ei ollut teetetty sitä jo aikaisempien tutkimuksien yhteydessä. Ohuthieet tehtiin GTK:n Itä-Suomen yksikön ohuthielaboratoriossa. Ohuthieistä selvitettiin sekä silikaatti- että malmimineralogia. Valikoiduista ohuthiestä teetettiin elektronimikroanalyysia (kuitenkin vähintään yksi analysoitava hie joka tutkimuskohteesta). Analyysit teki Bo Johanson GTK:n mikroanalyyssilaboratoriossa Espoossa Cameca SX100 – elektronimikroanalyyssilaitteella hyödyntämällä aallonpituusdispersiivistä (WDS) analyysitekniikkaa. Elektronimikroanalyysissa selvitettiin sulfidien koos-

tumus (sekä pentlandiitista erikseen palladiumpitoisuus), magmaattisten silikaattien koostumus sekä spinellien koostumus (analyysi viidestä rakeesta joka tutkimuskohteesta).

## **5. TUTKIMUSKOHTEIDEN KUVAUS JA AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET**

Tähän tutkimukseen on valittu Kuhmon, Nurmeksen, Lieksan, Sotkamon ja Valtimon alueella olevia GTK:n tutkimuskohteita, jotka ovat kairasydän- ja/tai maastohavaintojen perusteella oletettavasti komatiittisia alkuperältään (Kuva 6). Kriteerinä tutkimuskohteita valittaessa on pidetty serpentiniitin (tai serpentiinitremoliittikiven) läsnäoloa. Tipasjärvi-Kuhmo-Suomussalmi-vihreäkivivyöhykkeeseen suoranaisesti liittyvät kohteet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle (poikkeuksena Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen eteläkärjessä sijaitseva Teerisuon tutkimuskohde). Tainiovaaran Ni-mineralisaatiota käytetään tutkimuksena vertailukohtana malmipotentialiaa arvioitaessa. Kohteista on tehty vaihteleva määrä tutkimusta: osaa on kairattu, mutta joistain on vain muutama paljastumahavainto. Useimmiten tutkimuksen syynä on ollut magneettisen anomalian aiheuttajan selvittäminen. GTK:n kiinnostusta ultramafisten kivien tutkimukseen on lisännyt vuonna 2003 Lieksan pohjoisosasta kansannäytteenä GTK:lle lähetetty 2,2 % nikkeliä sisältävä sulfidipitoinen serpentiinitremoliittikivilohkare (Halkoaho ja Niskanen 2006).



Kuva 6. Tutkimuskohteiden sijainti. Pohjakartta: Kallioperäkartta 1:200 000 (GTK 2009).

Tutkimuskohteiden kuvailu on tehty GTK:n raporttien, julkaisemattomien kallioperähavaintojen ja kairasydänraporttien, PaITuli-paikkatietojärjestelmän karttojen sekä kirjoittajan omien maastohavaintojen perusteella.

## 5.1. Kuhmossa sijaitsevat tutkimuskohteet

### 5.1.1. Särkivaara

Särkivaaran kohde koostuu kuudesta serpentiniittipaljastumasta ja yhdestä (tremoliitti-)serpentiniittipaljastumasta Kuhmon kaakkoisosassa. Se on tutkituista kohteista pohjoisin. Sivukivenä Särkivaarassa on TTG-gneissejä ja amfiboliittia.

### 5.1.2. Teerisuo

Teerisuon kohde koostuu kahdesta tholeiittista basalttia edustavasta paljastumasta ja yhdestä serpentiniittipaljastumasta. Kohde sijoittuu Kuhmon vihreäkivivyöhykkeen aivan eteläkärkeen.

### 5.1.3. Valkealampi

Valkealammen kohde sijaitsee Kuhmon kaakkoisosassa noin 11 km etelään Särkivaarasta. Se koostuu yhdestä laajasta (noin  $70 \times 70$  m) tumman ruskeasta keskirakeisesta serpentiniittipaljastumasta. Ympäröivinä kivilajeina on amfiboliittia, granodioriittia/kvartsidioriittia sekä tonaliittigneissia.

### 5.1.4. Hamara-aho

Hamara-ahon kohde koostuu yksittäisestä vaalean vihreästä pieni-/keskirakeisesta serpentiini-tremoliittikivipaljastumasta Kuhmon eteläosassa. Alueen pääkivilajit ovat graniitti, gneissimäinen tonaliitti ja kiillegneissi.

### 5.1.5. Kiehu

Kiehun tutkimusalue sijaitsee noin 50 km Kuhmon keskustasta etelään Louhivaaran alueella (Halkoaho ja Niskanen 2003). Louhivaaran alueen kallioperä koostuu graniitoidisista gneisseistä, niiden sisäisistä gabrojuonista ja myöhäisarkeaisen vihreäkivivyöhykkeen serpentiini- ja/tai tremoliittikivijäänteistä. GTK:lla oli alueella 10 hehtaarin

kokoinen valtaus (Kiehu 1, kaivosrekisterinumero 7466/4). GTK on suorittanut alueella tutkimusta tarkoituksena selvittää magneettisten anomalioiden aiheuttaja ja selvittää alueen Ni-PGE-malmipotentialia. Alueella suoritettiin systemaattinen magneettinen maanpintamittaus. Kairareikiä tehtiin kaksi (yhteensä 142,2 m). Kairasydämistä on tehty 10 Au-Pd-Pt-analyysia, 1 Au-Pd-analyysi, 1 Pd-analyysi, 11 perusmetallianalyysia sekä 6 kokokivianalyysia ja hiilen määrittystä. Analyysien perusteella magneettisten anomalioiden aiheuttajiksi paljastuivat tremoliitti(-biotiitti)kiven reunustamat komatiittiset serpentiniittilinssit.

#### *5.1.6. Lummesuo*

Lummesuon tutkimuskohde sijaitsee Kuhmon eteläosassa. Kohde käsittää halkaisijaltaan 600 m olevan magneettisen anomalian (Halkoaho ja Niskanen 2006). GTK suoritti anomalian alueella lyhyen maastokatselmuksen 2000-luvun alkupuolella, mutta alueelta ei löytynyt paljastumia. Näiden tutkimusten yhteydessä alueella ei suoritettu kairauksia, sillä Karelian Diamonds Limited -yhtiöllä oli alueella voimassa oleva valtaus. Anomalian luoteispuolelta tehtiin paljastumahavainto tremoliittikivestä, joka edustaa kokokivianalyysin perusteella komatiittista laavapatjaa tai komatiittisen kumulaatin reunaosaa. Lummesuon kaakkoisosasta Makuvaaran magneettisen anomalian alueelta tehtiin lisäksi kaksi (magnetiitti-)gabropaljastumahavaintoa.

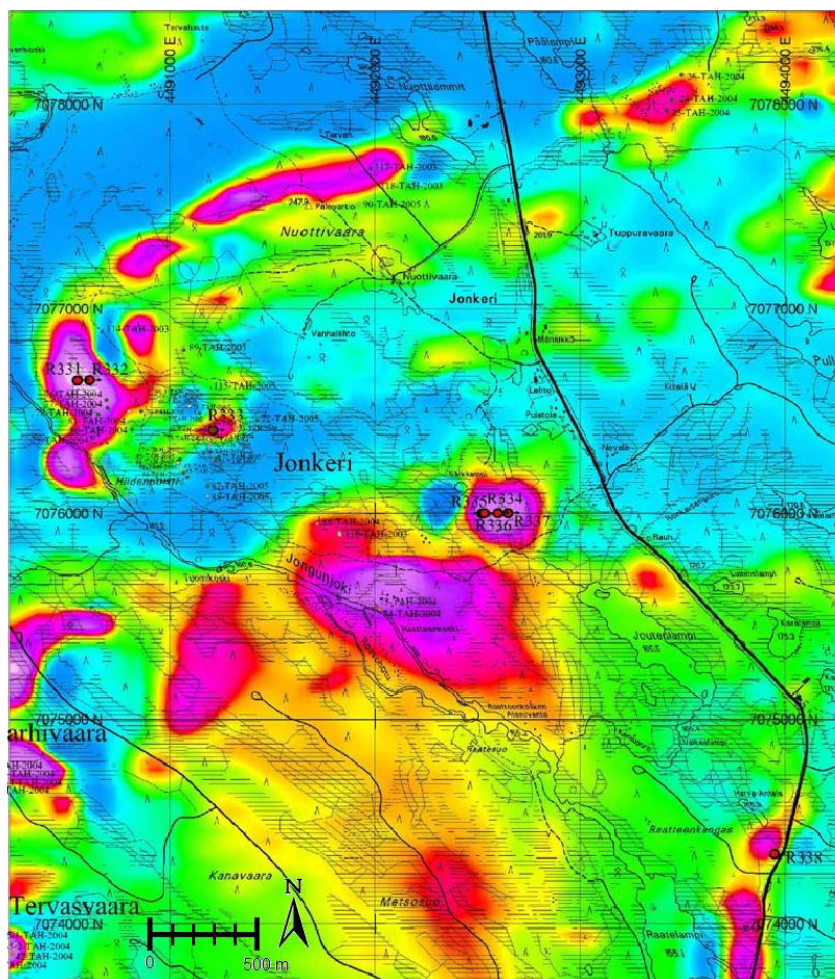
GTK palasi Lummesuon alueelle vuonna 2010 (Halkoaho et al. 2012). Anomalian alueella tehtiin kolme syväkairareikää (yhteensä 374,10 m). Anomalian aiheuttajaksi paljastui tremoliittiserpentiinikivikappale. Kairasydämistä tehtiin 11 kokokivianalyysia ja hiilimäärittystä, 4 Au-PGE-analyysia ja 4 REE-analyysia.

#### *5.1.7. Jonkeri*

Jonkerin kohde sijaitsee Kuhmon eteläosassa. Jonkerin kohdetta kairattiin 2004 tarkoituksena selvittää alueella olevien magneettisten anomalioiden aiheuttajat (Halkoaho ja Niskanen 2006). Alueelta tehtiin myös 47 paljastumahavaintoa. Jonkerin alueella kairattiin neljää eri anomaliaa (Kuva 7). Kahden keskimmäisen anomalian (kairareivät R333 ja R334–R337) aiheuttajaksi paljastui komatiittinen serpentiniittikappale. Läntisimmän



anomalian aiheutti rikki- ja magneettikiisua sisältävä sulfidifasiuksen rautamuodostuma ja itäisimmän serisiittikvartsimaasälpäliuskeen ja kiilleliuskeen yhteydessä olevat rikki-kiisu-magneettikiisuraidat.



Kuva 7. Jonkerin tutkimuskohteen magneettiset anomaliat ja kairareikien sijainnit. (mukaillen Halkoaho ja Niskanen 2006)

Toiseksi läntisimmän kairauskohteen anomalia on verraten heikko. Se aiheutuu ohuesta serpentiniittikappaleesta, jota ympäröi amfiboliittit, kiilleliuskeet ja graniittigneissit (Halkoaho ja Niskanen 2006). Kairareian (R333) lähellä on hieman ruosteinen heikon sulfidipirootteen sisältävä tremoliittikivipaljastuma, josta otetusta näytteestä Tuomo Karinen on analysoinut sulfidit Oulun yliopiston mikroanalyysointilaboratoriossa. Analysoitujen näytteen sulfidit ovat magneettikiisua, pentlandiittiä, kuparikiisua ja gersdorfiittiä. Kairareian läheisyydestä on tehty seitsemän perusmetalli- ja Au-Pd-Te-analyysiä, kaksi Pt-Pd-analyysiä ja yhdeksän kokokivianalyysiä.

Toiseksi itäisimmän kohteen anomalian aiheuttaja on graniitin ”päälystämä” serpentiniittikappale (Halkoaho ja Niskanen 2006). Anomaliasta tehtiin neljän reiän profiili (R334-R337), jossa näkyy vaihteleva serpentiniitti-tremoliittikivivilajiseuranto. Rei’istä on tehty 14 kokokivianalyysiä ja yksi Pt-Pd-Au-analyysi.

#### *5.1.8. Tervasvaara*

Kuhmon eteläosassa sijaitseva Tervasvaaran kohde koostuu kolmesta suuresta keskira-  
keisesta serpentiniittipaljastumasta (Halkoaho ja Niskanen 2006). Paljastumista on ana-  
lysoitu kolme näytettä, joiden perusteella kivet ovat tremoliittirikkaita oliviiniorto-  
/mesokumulaatteja.

#### *5.1.9. Karhivaara*

Karhivaaran tutkimuskohde jakautuu kahteen erilliseen alikohteeseen (Halkoaho ja Nis-  
kanen 2006). Pohjoisemmasta näistä on tehty kolme paljastumahavaintoa, joista kaksi  
edustaa tremoliitti- ja serpentiinitremoliittikiveä ja yksi amfiboliittia. Saman paljastu-  
man (TAH\$-2004-67) sekä tremoliittikivi- että serpentiinitremoliittikiviosasta on tehty  
kokokivianalyysi. Eteläisemmältä kohteelta on kymmenen paljastumahavaintoa, joista  
viisi edustaa amfiboliittia, kaksi graniittipegmatiittia, kaksi tremoliittikiveä ja yksi  
kvartsiraitaista rautamuodostumaa. Yhdestä amfiboliitti-, tremoliittikivi- ja rautamu-  
odostumapaljastumasta on tehty kokokivianalyysi. Analyysin perusteella tremoliitti edus-  
taa ohutta komatiittista laavapatjaa.

## **5.2 Sotkamossa sijaitsevat tutkimuskohteet**

### *5.2.1. Jänisaho*

Jänisahon, Pyyvaaran ja Ällävaaran tutkimuskohteet sijaitsevat Tipasjärven vihreäkivi-  
vyöhykkeen luoteispuolella luoteis-pohjoiseen suuntautuneissa vihreäkiviriekekaleissa.  
Jänisaho on kohteista pohjoisin. Se koostuu kahdesta tremoliittiserpentiinikivipaljastu-

masta ja yhdestä serpentiniittipaljastumasta. Tremoliittiserpentiinikivi on täplikästä. Täplät edustavat mahdollisesti metamorfisia oliviiniporfyroblasteja.

#### *5.2.2. Pyyvaara*

Pyyvaaran laaja paljastuma-alue sijaitsee noin kuusi kilometriä lounais-etelään Jänisahosta. Havaintoja on tehty kahdesta serpentiniittipaljastumasta, kahdesta tremoliittiserpentiinikivipaljastumasta ja neljästä serpentiinitremoliittikivipaljastumasta. Toinen serpentiniittipaljastuma sisältää pyöreähköjä ruskeita täpliä, jotka ovat mahdollisesti metamorfisia oliviinikiteitä.

#### *5.2.3. Ällävaara*

Ällävaara sijaitsee noin kilometrin lounais-etelään Pyyvaarasta. Tutkimuskohde koostuu yhdestä komatiittista basalttia edustavasta paljastumasta ja yhdestä serpentiinitremoliittikivipaljastumasta. Komatiittisessa basaltissa esiintyy satunnaisesti kapeita (alle 0,5 mm) kuparikiisu-magneettikiisusuonia ja mahdollisesti lyijyhohderakeita.

### **5.3. Valtimossa sijaitsevat tutkimuskohteet**

#### *5.3.1. Kolinvaara*

Kolinvaaran ja Säkiköskosen tutkimuskohteet sijaitsevat Tipasjärven vihreäkivivyöhykkeen eteläpuolella. Sekä Kolinvaaraan että Säkiköskeen liittyy heikko magneettinen anomalia. Kolinvaara on kohteista läntisempi. Kolinvaaran kohde koostuu 19 ultramafisesta paljastumasta, joiden koostumus vaihtelee tremoliittikivestä serpentiniittiin. Ultramafiset paljastumat muodostavat likimain länsi-itäsuuntaisen noin 400 m pitkän jonon, jonka pohjois- ja eteläpuolella tavataan amfiboliittia ja kaakkoispuolella lisäksi kiillegneissia.

### 5.3.2. Säkkikoski

Säkkikosken tutkimuskohde sijaitsee noin 2 km itä-kaakkoon Kolinvaarasta. Kohde koostuu yhdestä noin  $20 \times 20$  m kokoisesta serpentiniittipaljastumasta. Alueen kalliope-  
rä koostuu lähinnä amfiboliitista ja kiillegneissistä.

## 5.4. Nurmeksessa sijaitsevat tutkimuskohteet

### 5.4.1. Näätävaara

Nurmeksien pohjoisosan Näätävaaran kohde muodostuu yksittäisestä flogopiittipitoises-  
ta serpentiniittipaljastumasta (Halkoaho ja Niskanen 2006). Serpentiniitistä 50–100 m  
etelään sijaitsevat kolme tonaliittipaljastumaa ovat selvästi kloriittiutuneet. Analyysin  
perusteella serpentiniittipaljastuma edustaa oliviinimesokumulaattia (Halkoaho ja Nis-  
kanen 2006). Kohteen  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  on poikkeuksellisen alhainen muihin Lieksa-Nurmes-  
Kuhmo-alueen ultramafisiin kiviin verrattuna.

### 5.4.2. Jurtti

Jurtin tutkimuskohde sijaitsee Nurmeksien kaakkoisosassa (Pietikäinen et al. 2005).  
Alueella on voimakas magneettinen anomalia, jonka päällä on runsaasti serpentiniitti-  
lohkareita. Lieksan keskustan alueelta on löydetty lisäksi 1990 ja 1991 kaksi nikkelipi-  
toista serpentiniittilohkareita. Koska anomalia sopii jäätikön kuljetussuunnan perusteel-  
la lohcareiden lähtöpaikaksi, päätettiin anomaliaa kairata. Magneettisen anomalian rajat  
tarkennettiin ensin geofysikaalisilla maastomittauksilla, jonka jälkeen kohteella kairat-  
tiin neljä kairareikää (yhteensä 290,10 m). Selvää johdeanomaliaa ei ilmennyt geofysi-  
kaalisissa mittauksissa. Kairasydämistä on tehty 63 perusmetalli- ja Au-Pd-analyysia,  
11 kokokivianalyysia sekä 1 REE-analyysi. Magneettisen anomalian aiheuttaja on kai-  
rasydänten ja analyysien perusteella noin  $200 \times 100$  m kokoinen serpentiniittilinssi.  
Linssin länsireunalla tavataan myös paikoin magneettikiisupitoista tremoliittikiveä/-  
liusketta.

## 5.5. Lieksassa sijaitsevat tutkimuskohteet

### 5.5.1. Likorinne

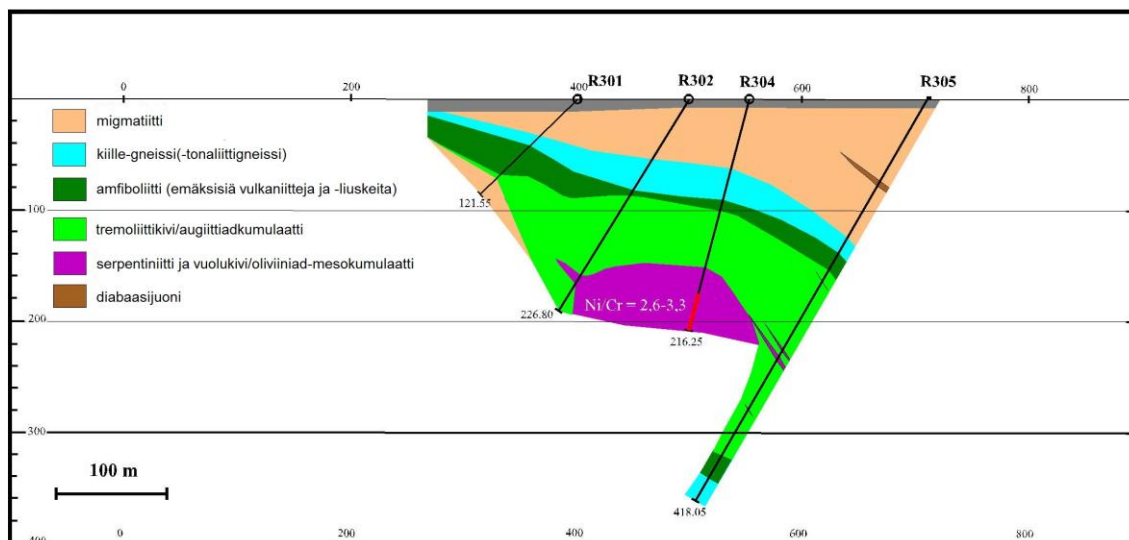
Pohjois-Lieksassa sijaitseva Likorinteen kohde koostuu kahdesta tumman harmaasta serpentiniittipaljastumasta ja niitä ympäröivistä vihertävän harmaista tremoliittikivipaljastumista. Serpentiniittien ja tremoliittikivien pohjoispuolisissa tonaliiteissa on havaittavissa muuttumista.

### 5.5.2. Koskivaara

Lieksan koillisosassa sijaitseva Koskivaaran kohde muodostuu yhdestä heterogeenisestä isoja flogopiittisuomuja sisältävästä serpentiniittipaljastumasta (Halkoaho ja Niskanen 2006). Serpentiniitti on muuttunut osin vuolukiveksi. Kokokivianalyysin perusteella paljastuma edustaa oliviinimesokumulaattia. Kohteelta on analysoitu myös serpentiniittistä 200 m pohjois-luoteeseen oleva gabrojuoni.

### 5.5.3. Jamali

Jamalin tutkimuskohde sijaitsee Niitty-Jamalin alueella noin 8 km Lieksan keskustasta luoteeseen (Halkoaho ja Niskanen 2004). Niitty-Jamalin kallioperä koostuu TTG-gneisseistä ja niiden sisällä olevista amfiboliitti-, tremoliittikivi- ja serpentiniittisulkeumista. GTK tutki aluetta 2000-luvun alussa tarkoituksena selvittää alueen ison voimakkaan magneettisen anomalia aiheuttaja ja Ni-PGE-malmipotentialia. GTK:lla oli valtaus alueella 2004 vuoteen asti. Tutkimuskohteella ei ole kalliopaljastumia. Alueella suoritettiin systemaattinen magneettinen maanpintamittaus, sähkömagneettinen slingrammittaus sekä transienti sähkömagneettinen mittaus. Alueelle sekä sen välittömään läheisyyteen tehtiin viisi kairareikää. Alueella ei havaittu selkeää johdeanomaliaa. Kairasydämistä tehtiin 15 Au-Pd-Pt-analyysia, 29 Au-Pd-analyysia, 43 perusmetallianalyysia, 35 kokokivi- ja hiilianalyysia sekä 3 REE-analyysia. Analyysien perusteella anomalian aiheuttaja on komatiittinen serpentiniittilinssi (Kuva 8). Linssillä ei näyttäisi olevan pintapuhkeamaa. Linssiä ympäröi tremoliittikivi.



Kuva 8. Jamalin komatiittinen linssi ja siihen kairatut kairareivät. Kairausprofiili on lounais-kaakkoisuuntainen siten, että R301 on lounaisin reikä ja R305 kaakkoisin. (mukaillen Halkoaho ja Niskanen 2004)

#### 5.5.4. Suolameri

Suolameren kohde sijaitsee Kaakkois-Lieksassa. Kohteella on voimakas magneettinen anomalia. Suoraan anomalian kohdalla ei ole kalliopaljastumia, mutta 250 m kaakkoon anomaliasta on tonaliittigneissi ja gneissigranodioriittipaljastuma. GTK kairasi alueella olevaa magneettista anomaliaa 2011 (kaksi kairareikää, yhteensä 310,80 m). Kairasydänraportoinnin perusteella anomalian aiheuttaja on serpentiinitremoliittikiviesiintymä.

#### 5.5.5. Louhimo

Louhimon tutkimuskohde on Lieksan eteläosassa sijaitseva vanha vuolukivilouhos. Louhoksesta on kolme kallioperähavaintoa (serpentiniitti, amfiboliitti ja serpentiniitti/vuolukivi). Alueen kallioperä koostuu gneissimäisestä ja massiivisesta tonaliitista sekä näiden sisäisistä/välisistä amfiboliittiosueista.

## 6. TULOKSET

### 6.1. Kokokivianalyysit

Tässä työssä oli käytössä yhteensä 144 kokokivianalyysia, jotka edustavat tremoliittikiviä, serpentiinitremoliittikiviä, serpentiinittejä tai muita mahdollisesti komatiittisia ultramafisia kiviä (Liite 1). Kokokivianalyysit on toteuttanut GTK:n Geolaboratorio lukuun ottamatta Lummesuon ja Suolameren analyyssejä, jotka on toteuttanut Labtium Oy. Kokokivianalyyssejä oli saatavilla vaihteleva määrä eri tutkimuskohteista. Eniten analyyssejä on Jamalin (29 analyysia) ja Jonkerin (27 analyysia) tutkimuskohteilta. Näätävaaran, Koskivaaran, Valkealammen, Teerisuon, Ällävaaran, Säkkiposken ja Hamaraahon kohteista on vain yksi serpentiinit- tai serpentiinitremoliittikivianalyysi.

Komatiittisen alkuperän varmistusta geokemian perusteella vaikeuttaa muuttuminen. Ultramafisia ja mafisia vulkaniitteja voidaan luokitella Le Basin (2000) mukaan MgO-, SiO<sub>2</sub>-, TiO<sub>2</sub>-, Na<sub>2</sub>O-, K<sub>2</sub>O-pitoisuuksien perusteella. Tämä ei kuitenkaan sovellu kovin hyvin Itä-Suomen vihreäkivi- ja amfiboliittifasieksen oloissa muuttuneille kiville, sillä Na ja K käyttäytyvät mobiilisti komatiiteissa (Arndt et al. 2008). On kuitenkin huomionarvoista, että Suolameren kohteen Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O -arvot ovat selkeästi muita kohteita korkeampia (0,11–2,56 %). Korkeat arvot ovat yleisiä etenkin Suolameren R1- kairareissä (keskiarvo 0,97 %), kun taas R2:ssa arvot ovat alhaisempia (0,43 %). Vain näytteellä R1/22.10-22.70 (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 2,56 %) on Le Basin (2000) uuden ultramafisten kiviä luokittelun mukaan koostumus, joka ei täytä komatiitin vaatimuksia. Näyte edustaisi MgO-, SiO<sub>2</sub>-, TiO<sub>2</sub>-, Na<sub>2</sub>O-, K<sub>2</sub>O-pitoisuuksien perusteella pikriittiä.

MgO ja TiO<sub>2</sub> ovat komatiiteissa suhteellisen epämobiileja (Arndt et al. 2008). Tutkimuskohteiden ultramafiittien keskimääräinen volatiilittomaksi normalisoitu MgO-pitoisuus vaihtelee välillä 23–42 % (Taulukko 2). Kohteiden suurimmat MgO-pitoisuudet ovat välillä 25,4–42,0 %. TiO<sub>2</sub>-pitoisuus on kaikissa näytteissä selvästi alle yhden prosentin. Tutkimuskohteiden suurimmat SiO<sub>2</sub>-pitoisuudet ovat välillä 27,1 – 53,6 %. MgO-, TiO<sub>2</sub>- ja SiO<sub>2</sub>-pitoisuuksien perusteella kivet edustavat komatiitteja. Yksi Karhivaaran, yksi Jurtin ja yksi Jamalin näyte sisältää yli 53 % SiO<sub>2</sub>:a. Kuitenkin

koska ylitykset ovat hyvin pieniä ja kohteiden keskimääräiset SiO<sub>2</sub>-pitoisuudet merkittävästi näitä näytteitä alhaisempia, voidaan myös näitä kohteita pitää komatiittisina.

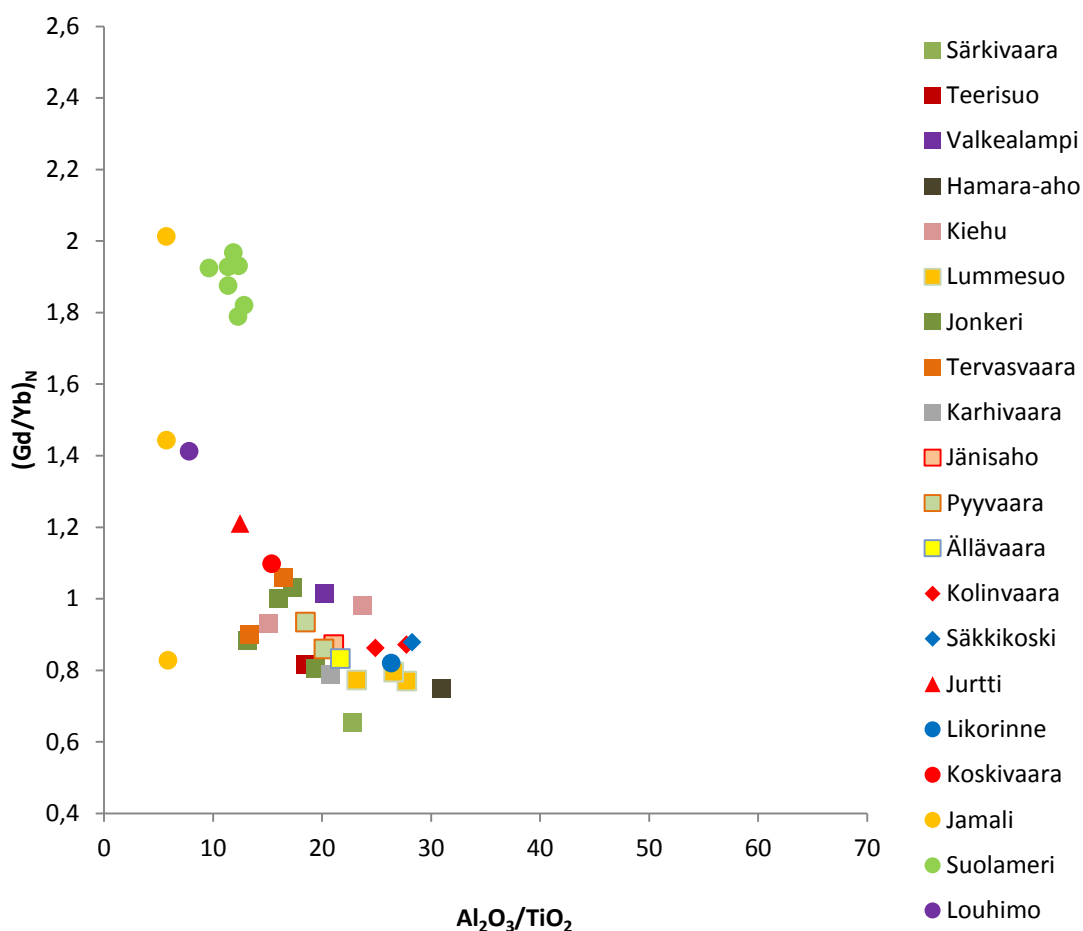
Taulukko 2. Tutkittujen ultramafisten kohteiden keskimääräiset ja suurimmat MgO-, TiO<sub>2</sub>- ja SiO<sub>2</sub>-pitoisuudet (analyysit normalisoitu volatiilittomiksi).

	n	keskiarvo			suurin		
		MgO %	TiO <sub>2</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	MgO %	TiO <sub>2</sub> %	SiO <sub>2</sub> %
Särkivaara	3	36,58	0,12	48,25	37,28	0,13	51,02
Teerisuo	1	32,26	0,13	48,34	32,26	0,13	48,34
Valkealampi	1	40,53	0,22	40,20	40,53	0,22	40,20
Hamara-aho	1	29,72	0,13	49,91	29,72	0,13	49,91
Kiehu	4	25,03	0,27	49,24	27,44	0,32	49,03
Lummesuo	12	33,43	0,19	44,13	39,59	0,25	46,63
Jonkeri	27	29,96	0,22	46,70	41,49	0,54	51,95
Tervasvaara	3	34,42	0,15	45,98	37,40	0,17	52,16
Karhivaara	3	27,91	0,20	49,34	33,55	0,25	53,02
Jänisaho	4	31,56	0,19	44,06	41,65	0,21	46,17
Pyyvaara	4	24,86	0,40	46,93	26,69	0,44	49,50
Ällävaara	1	25,38	0,17	47,23	25,38	0,17	47,23
Kolinvaara	7	29,34	0,15	46,47	39,12	0,19	50,22
Säkkikoski	1	37,40	0,15	41,68	37,40	0,15	41,68
Näätävaara	1	41,99	0,05	40,98	41,99	0,05	40,98
Jurtti	11	27,78	0,28	47,94	35,22	0,42	53,60
Likorinne	2	32,68	0,14	43,83	34,54	0,14	44,07
Koskivaara	1	36,27	0,08	37,85	36,27	0,08	37,85
Jamali	29	24,14	0,26	46,52	40,21	0,62	53,03
Suolameri	21	22,98	0,25	48,73	27,06	0,64	50,28
Louhimo	2	33,54	0,21	43,80	37,82	0,26	46,07

Suurimmalla osalla tutkimuskohteista Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> ja HREE ovat lähellä kondriittisia arvoja (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> = 20 ja (Gd/Yb)<sub>N</sub> = 1), joten ne edustavat Munro-tyypin alumiinista köyhtymättömiä komatiitteja (Kuva 9). Jamalin ja Louhimon näytteet vaikuttaisivat edustavan Barberton-tyypin alumiinista köyhtyneitä komatiitteja. Jamalin HREE-rikastuminen vaihtelee voimakkaasti, mikä voi johtua erityyppisistä näytteistä. Vain pienimmän (Gd/Yb)<sub>N</sub>-arvon (0,828) antanut näyte edustaa serpentiniittiä. Kaksi muuta näytettä edustavat tremoliitti-serpentiini-talkkikiveä ((Gd/Yb)<sub>N</sub> = 2,013) ja metapyrok-seniittia/tremoliittikiveä ((Gd/Yb)<sub>N</sub> = 1,443). Louhimon ainoa näyte, josta REE on analysoitu, antaa Barberton-tyypin komatiiteille tyypilliset Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>- ja (Gd/Yb)<sub>N</sub>-arvot. Näätävaaran näytteestä TAH\$-2001-47 teetettiin REE-analyysi, mutta REE-pitoisuudet olivat La-, Ce-, Nd- ja Dy-pitoisuuksia lukuun ottamatta alle määrittäysrajan,



joten  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ -arvoa ei voitu laskea.  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ -arvo Näätävaaran näytteelle on 6,7, mikä viittaisi alumiinista köyhtyneeseen Barberton-tyypin komatiittiin. Suolameren kohteen analyysit osuvat kuvaajassa hyvin pienelle alueelle. Kivet ovat hyvin voimakkaasti HREE:stä köyhtyneitä.  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ -arvot ovat Barberton-tyypin komatiiteillekin epätavallisen korkeita. Suolameren näytteiden  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ -väli on tyypillinen arkeaiselle ferropikriitille, mutta näytteiden FeO- ja  $\text{TiO}_2$ -pitoisuus ovat liian alhaisia ferropikriitiksi (Gibson 2002).



Kuva 9. Tutkimuskohteiden suhdelukujen vertailu. Näätävaara on jätetty vertailusta pois, sillä sen Gd ja Yb olivat alle molemmat alle määrittämissä rajoissa. Gadolinium ja ytterbium on normalisoitu käyttäen Hoffmanin (1988) primitiivisen vaipan arvoja.

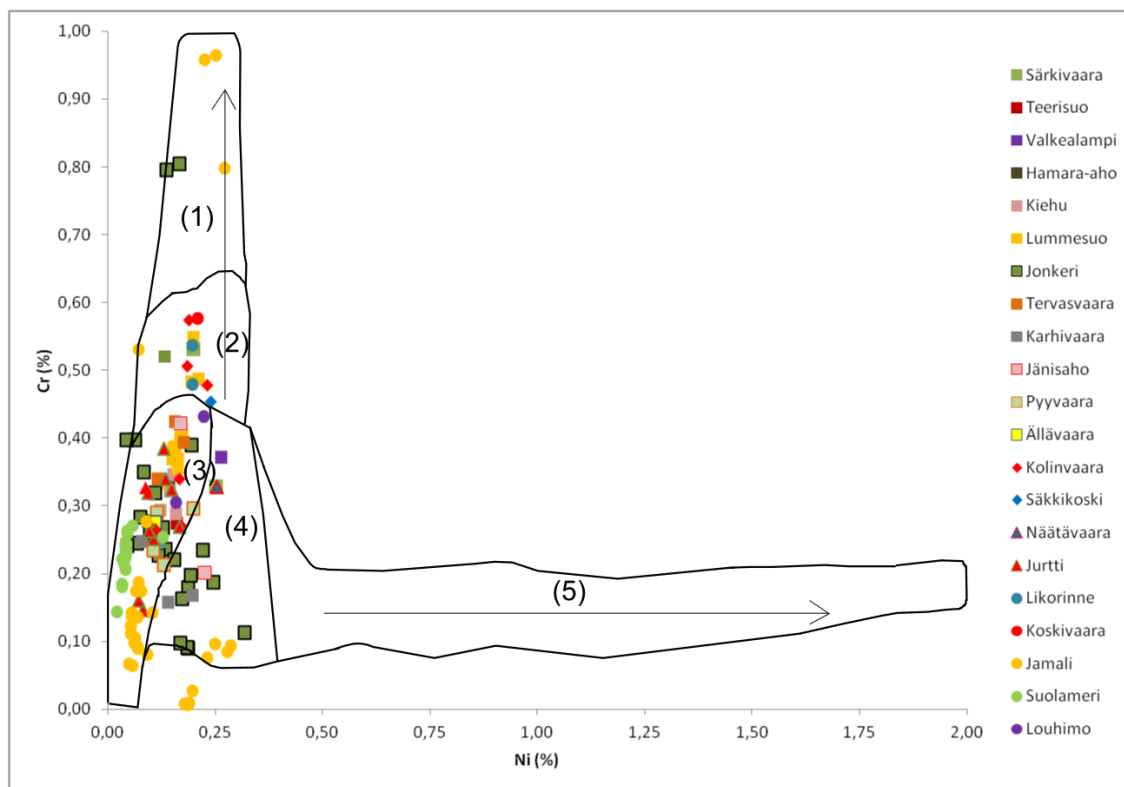
Tutkimuskohteiden korkeimmat havaitut nikkelpitoisuudet vaihtelevat välillä 1090–3180 ppm. Suolameren kohteen nikkelpitoisuudet ovat muihin kohteisiin verrattuna hyvin alhaisia (analysoitujen ultramafisten näytteiden keskiarvo 440 ppm Ni). Korkeimmat havaitut kuparipitoisuudet vaihtelivat alle 20 ppm:stä 5190 ppm:ään. Viisi suu-

rinta kuparipitoisuutta (870–5190 ppm) ovat Jamalin kohteen kairasydämistä. Kohteiden suurimmat havaitut rikkipitoisuudet vaihtelivat alle 60 ppm:stä 9660 ppm:ään.

#### *6.1.1. Alkuainesuhteet*

Tiettyjä alkuainesuhteita voidaan käyttää mineralisoituneiden ympäristöjen erottamiseen ei-mineralisoituneista. Ni/Cr-, Cu/Zn- ja näiden yhdistelmä  $[(\text{Ni}/\text{Cr}) \times (\text{Cu}/\text{Zn})]$  ovat osoittautuneet hyödyllisiksi mineralisoituneiden komatiittien erottamisessa ei-mineralisoituneista (Brand 1999). Ni-sulfidia mahdollisesti sisältävissä ympäristöissä komatiiteilla on melko korkea MgO- ja Ni-pitoisuus ja alhainen Cr-pitoisuus. Ni/Cr on yleisesti yli yhden. Tämä heijastaa oliviinivaltaista primääristä mineralogiaa. Fraktioituneissa malmiköyhissä ympäristöissä Cr-pitoisuus on suurempi ja MgO, Ni ja Ni/Cr pienempiä (Ni/Cr yleensä  $<1$ ) heijastaen ortopyrokseenin ja kromiitin suurempaa määrää.

Kuvassa 10 on esitettynä analysoitujen näytteiden Ni- ja Cr-pitoisuudet sekä niiden vertailu Brandin (1999) rajaamiin Ni-Cr-trendeihin. Näytteet osuvat pääosin komatiittisen sulan kenttään, jossa voi esiintyä sekä mineralisoituneita että ei-mineralisoituneita komatiitteja. Jamalin ja Jonkerin analyysissä on havaittavissa heikko trendi sekä mineralisoituneen että ei-mineralisoituneen sarjan suuntaan. Jamalissa R304-kairasydämen analyysit ovat keskimäärin selkeästi R305:n analyysija Cr-rikkaampia. Suolameren analyysit erottuvat muista useamman näytteen kohteista hyvin tiukasti rajatulla Cr- ja Ni-köyhällä ryppäällä. Mahdollisesti Ni-sulfidia sisältävään oliviinikumulaattikenttään osui näytteitä Jamalin ja Jonkerin lisäksi myös Karhivaaran, Jänisahon, Särkivaaran, Nätävaaran ja Valkealammen kohteilta.



Kuva 10. Ni-Cr-pitoisuuksien vertailu Brandin (1999) Norseman-Wiluna vyöhykkeen kivien perusteella laatimiin Ni-Cr-trendeihin. Numeroiden selitykset: (1) ei-mineralisoituneen komatiitin trendi (kromiittikumulaatin määrä kasvaa), (2) oliviini-kromiittikumulaatit (oliviini-kromiitti-sulaseoksia, Cr silikaatti- ja kromiittifaaseissa, Ni silikaateissa), (3) komatiittisen sulan kenttä, (4) oliviinikumulaatti (oliviini-sulaseoksia, Cr silikaattifaasissa, Ni silikaateissa ja sulfideissa), (5) mineralisoituneen komatiitin trendi (Ni-sulfidin määrä kasvaa).

Kambaldan ei-mineralisoituneiden komatiittijaksojen pohjalla ja sisässä esiintyy sulfidirikkaita sedimenttihorisontteja (Brand 1999). Horisontit ovat tyypillisesti Zn-rikkaita (Zn keskimäärin 1500 ppm). Cu-pitoisuus on selkeästi alhaisempi (keskimäärin 480 ppm). Koska kontaktisulfidimalmien Zn-pitoisuudet (alle 100 ppm) ovat selkeästi Cu-pitoisuuksia (yli 400 ppm) pienempiä, voidaan Cu/Zn-suhdetta käyttää malmisulfidien erottamiseen sulfidipitoisista sedimenttihorisonteista. Kertomalla Ni/Cr- ja Cu/Zn-suhdeluvut toisillaan saadaan korostettua malmyksikköjä sekä vähennettyä erilaisten isäntäkiven vaikutusta.  $[(\text{Ni}/\text{Cr}) \times (\text{Cu}/\text{Zn})]$ -arvosta käytetään myös nimeä Kambaldasuhde.

Taulukossa 3 on esitetty keskimääräiset sekä suurimmat Ni/Cr-, Cu/Zn- ja  $[(\text{Ni}/\text{Cr}) \times (\text{Cu}/\text{Zn})]$ -arvot tutkituille kiville. Yhden ylittäviä Ni/Cr-arvoja esiintyy Karhivaaran, Jänisaho, Kolinvaaran sekä Jamalin kohteilla. Cu/Zn on yli yksi vähintään yhdessä Jur-

tin, Karhivaaran, Teerisuon, Kolinvaaran, Lummesuon, Suolameren, Hamara-ahon, Pyyvaaran, Kiehun, Jamalin ja Jonkerin analyysissä. Kambalda-suhde ylitti yhden Jur-tissa, Karhivaarassa, Lummesuolla, Suolamerellä, Pyyvaarassa, Jamalissa ja Jonkerissa. Merkille pantavaa on kaikkien suhdelukujen suuret arvot Jamalissa. Tämä johtuu tosin enemmän Cr- ja Zn-köyhyydestä kuin Ni-rikkaudesta. Esimerkiksi suurimman Kambal-da-suhteen (310) antaneelle näytteellä R305/190,55–190,80 Cr-pitoisuus oli vain 80 ppm ja Zn-pitoisuus vain 60 ppm. Tästä huolimatta voidaan Jamalia pitää Kambalda-suhteen perusteella potentiaalisesti mineralisoituneena komatiittina.

Taulukko 3. Ni/Cr-, Cu/Zn- ja [(Ni/Cr) x (Cu/Zn)]-suhdeluvut tutkituille kohteille. Keskiarvoon on laskettu mukaan vain analyysit, joissa Ni sekä Cr ja/tai Cu sekä Zn olivat yli määrittämissä rajoissa. Keskiarvoon on laskettu myös välittömien sivukivien koostumukset.

Kohde	Ni/Cr		Cu/Zn		(Ni/Cr) x (Cu/Zn)	
	keskiarvo	suurin	keskiarvo	suurin	keskiarvo	suurin
Särkivaara	0,465	0,767	0,505	0,505	0,387	0,387
Teerisuo	0,582	0,774	0,917	1,194	0,586	0,924
Valkealampi	0,708	0,708	*	*	*	*
Hamara-aho	0,421	0,421	1,082	1,082	0,455	0,455
Kiehu	0,462	0,549	1,153	1,389	0,540	0,763
Lummesuo	0,432	0,690	0,935	2,488	0,174	1,717
Jonkeri	0,717	2,812	0,768	2,905	0,485	1,734
Tervasvaara	0,386	0,447	0,209	0,209	0,072	0,072
Karhivaara	0,586	1,172	0,536	1,416	0,399	1,259
Jänisaho	0,594	1,116	0,582	0,671	0,248	0,268
Pyyvaara	0,530	0,672	1,715	3,344	0,875	1,312
Ällävaara	0,394	0,394	0,356	0,356	0,140	0,140
Kolinvaara	0,451	1,204	0,840	3,268	0,267	0,662
Säkkikoski	0,593	0,661	0,595	0,595	0,313	0,313
Näätävaara	0,770	0,770	0,142	0,142	0,109	0,109
Jurtti	0,407	0,619	1,064	2,245	0,523	1,235
Likorinne	0,462	0,609	0,129	0,221	0,067	0,134
Koskivaara	0,360	0,360	0,146	0,146	0,053	0,053
Jamali	3,060	27,045	6,424	57,722	22,226	310,048
Suolameri	0,226	0,657	2,169	14,571	0,638	7,271
Louhimo	0,441	0,518	0,524	0,808	0,253	0,417

\* Cu alle määrittämissä rajoissa (20 ppm) kaikissa analyyseissa

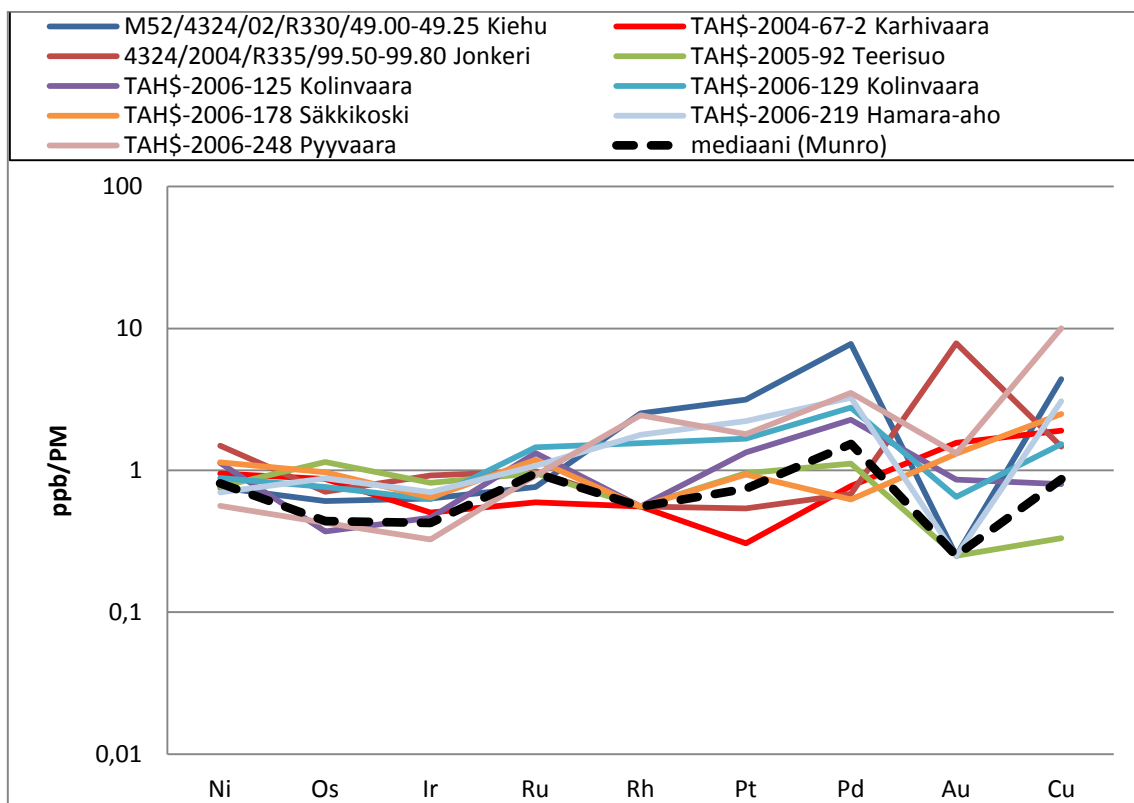
## 6.2. PGE-analyysit

Platinaryhmän alkuaineet voidaan jakaa Pd-ryhmään (Pd, Pt ja Rh) ja Ir-ryhmään (Ru, Ir ja Os) (Keays 1995). Pd-ryhmän pääasiallisina isäntämineraaleina subsolidus-peridotiitissa toimivat Cu-rikkaat sulfidit, kun taas Ir-ryhmän isäntinä toimivat pääosin Fe-Ni-sulfidit ja metalliseokset. Platinaryhmän alkuaineet ovat voimakkaasti kalkofiilisiä (Fiorentini et al. 2010) ja äärimmäisen siderofiilisiä. Ne ovat siten potentiaalisia indikaattoreita sulfidisulan silikaattisulasta erottumiselle ja akkumulaatiolle. Köyhtymistä PGE:n suhteen on havaittu monilla tunnetuilta malmialueilta (mm. Perseverance ja Kambalda), mutta köyhtyminen on usein hyvin paikallista liittyen vain tiettyihin yksiköihin. Se liittyy paikalliseen purkauksen aikaiseen tasapainoon ulkopuolelta tulleiden sulfidisulien kanssa. Suurin osa mafisista-ultramafisista magmoista on purkautuessaan sulfidien suhteen alikylläisiä.

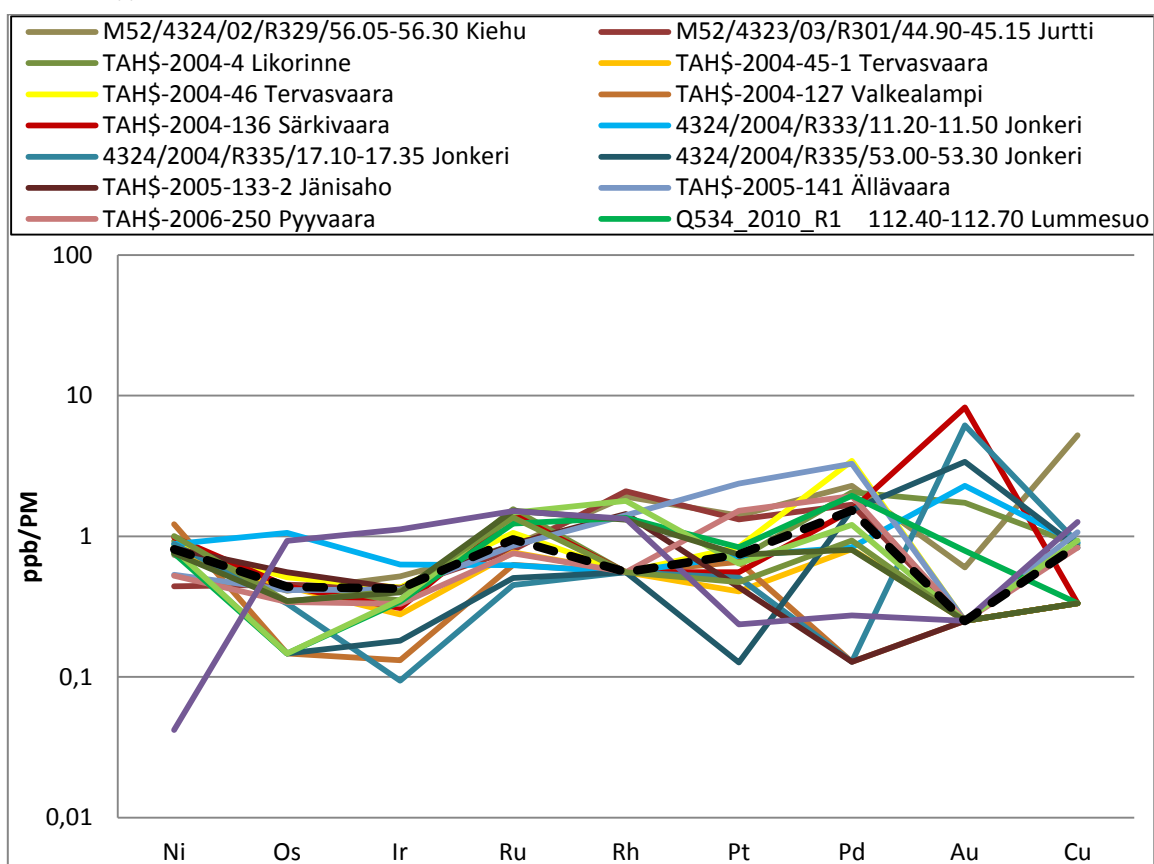
Fiorentinin et al. (2010) mukaan PGE:n suhteen rikastuminen on köyhtymistä käyttökelpoisempi malminetsintäsignaali. PGE:n suhteen rikastumista on havaittu laajalti myös näytteissä, joissa Ni ja S eivät ole koholla. Se ei ole myöskään yhtä paikallinen ilmiö kuin PGE-köyhtyminen. Kaikkien platinaryhmän alkuaineiden nousua tai laskua (kovarianssia) pidetään merkinä näiden anomalioiden primäärisestä magmaattisesta alkuperästä. Tosin joissain tapauksissa Ir-Os-rikkaat nestefaasit saattavat vaikuttaa Ir-, Ru-, ja Os-pitoisuuksiin estäen täydellisen kovarianssin.

Kuvassa 11 on esitetty tutkimuskohteiden normalisoidut PGE-, Ni-, Au- ja Cu-pitoisuudet. Munro- ja Barberton-tyypin kohteet on erotettu omiin kuviinsa. Munro-tyypin näytteet on jaettu lisäksi rikkipitoisuuden mukaan kahteen kuvaajaan ( $11A > 0,15 \% S$  ja  $11B < 0,15 \% S$ ). Kuvaajissa on esitetty myös kaikkien Munro-tyypin komatiitien mediaani katkoviivalla. Suolameren näytteet on esitetty omana kuvaajana (11D). PGE- ja Au-analyysit on esitetty taulukkona Liitteessä 2.

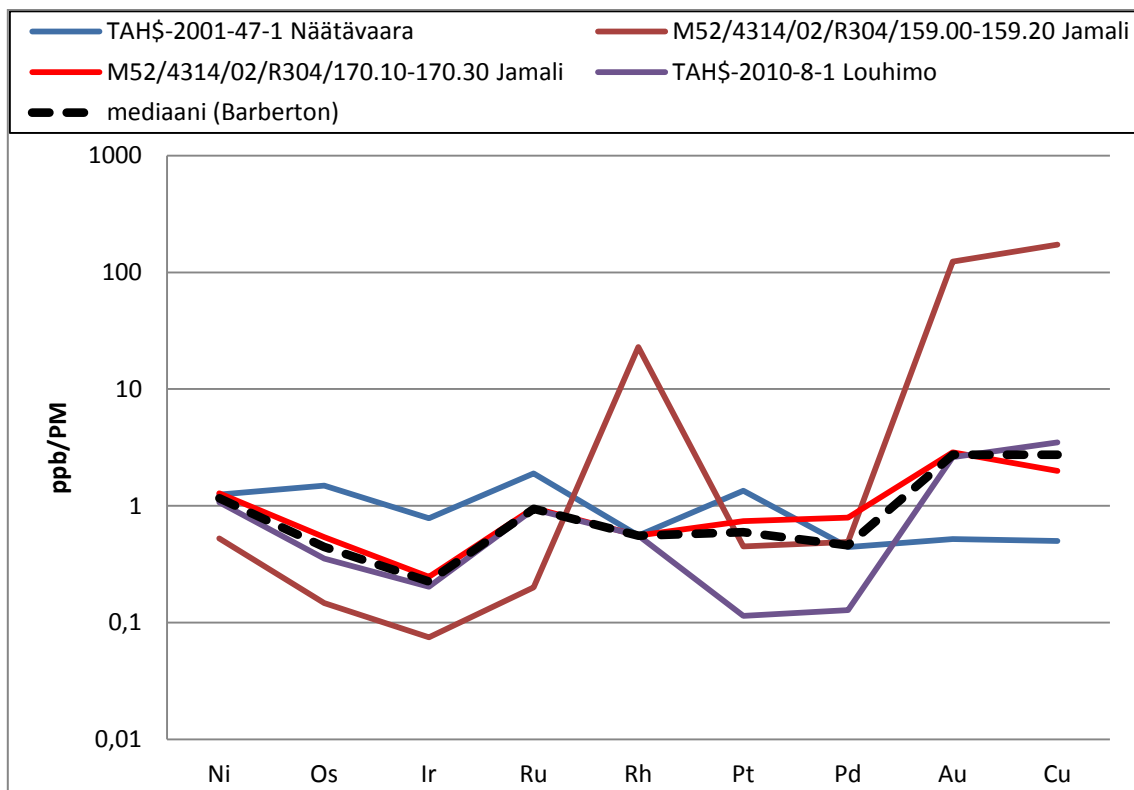
## A) Munro-tyyppi, &gt; 0,15 % S



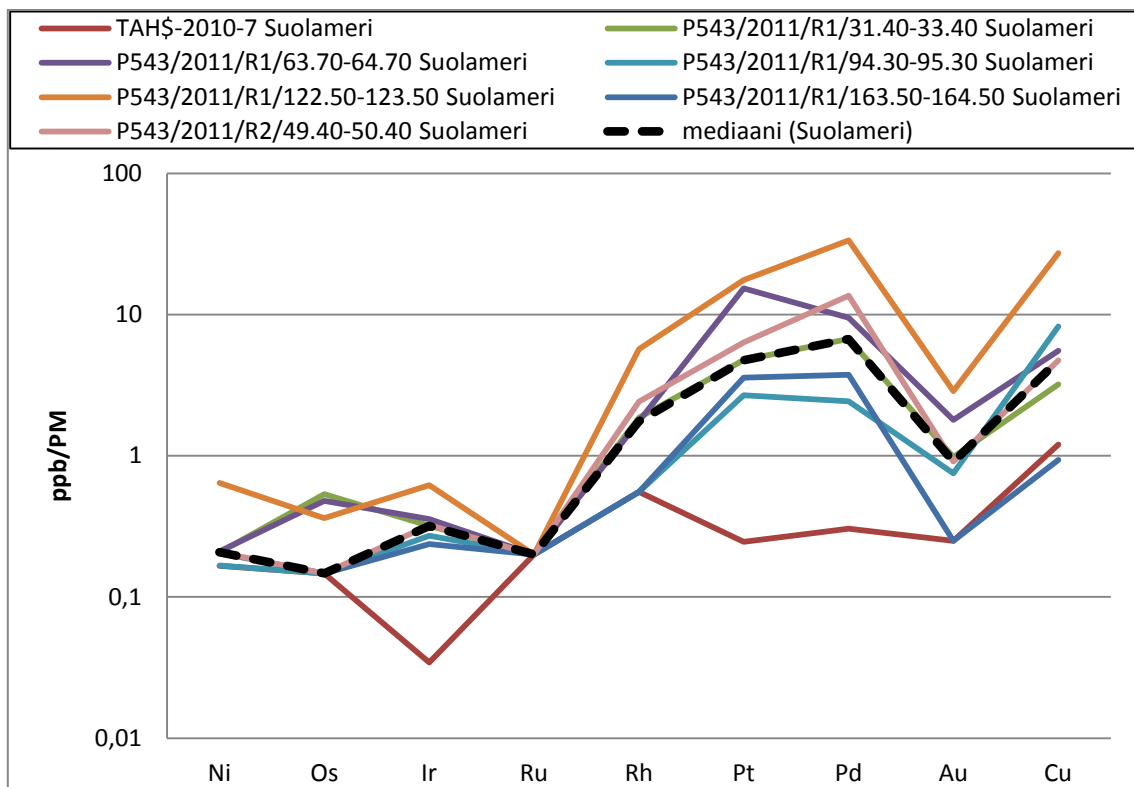
## B) Munro-tyyppi, &lt; 0,15 % S



## C) Barberton-tyyppi



## D) Suolameri



Kuva 11. Tutkimuskohteiden PGE-pitoisuudet. Pitoisuudet on normalisoitu McDonough'n ja Sunin (1995) primitiivisen vaipan arvoilla. Alle määrittäysrajan olevat arvot on korvattu kahdella jaetulla määrittäysrajan arvolla.

Munro-tyypin komatiiteilla PGE-pitoisuudet ovat melko lähellä primitiivisen vaipan tasoa. S-rikkailla Munro-tyypin komatiiteilla Os- ja Ir-pitoisuudet ovat lähellä primitiivistä vaippaa, ja hajonta on suhteellisen pientä. S-köyhillä Munro-tyypin komatiiteilla Os- ja Ir-pitoisuudet ovat alhaisempia ja hajonta on suurempaa. Kaksi näytettä on selkeästi Os-Ir-köyhtyneitä (Jonkeri R335/53,00–53,30, Valkealampi TAH\$-2007-127), yksi Os-köyhtynyt (Jonkeri R335/17,10–17,35) ja yksi Ir-köyhtynyt (Lummesuo R2/78,70 - 79,00). Ru on alle määritysrajan (1 ppb) viidessätoista kahdestakymmenestäkuudesta analysoidusta Munro-tyypin näytteestä. Pt- ja Pd-pitoisuudet ovat keskimäärin primitiivisen vaipan tasoa, mutta hajonta on melko suurta etenkin S-köyhillä komatiiteilla. Kiehun näyte R330/49–49,25 on selkeästi Pd-rikastunut, kun taas Valkealammen TAH\$-2007-127, Jonkerin R335/17,10–17,35 ja Jänisahon TAH\$-2005-133-2 ovat Pd-köyhtyneitä. Jonkerin R335/53,00–53,30 on Pt-köyhtynyt. Koskivaaran TAH\$-2002-38 on köyhtynyt selkeästi Ni:n suhteen sekä vähäisemmässä määrin myös Pt:n, Pd:n ja Au:n suhteen. Jonkerin R335/17,10–17,35, R335/11,20–11,50 ja R335/99,50–99,80 sekä Särkivaaran TAH\$-2004-136 ovat rikastuneet heikosti Au:n suhteen. Munro-tyypin kuvaajat mukailevat pääosin Arndtin et al. (2008) laatimaa S-köyhien ( $S < 0,2 \%$ ) komatiittien PGE-kuvaajaa. Täten komatiittiset magmat olisivat muodostuneet korkean asteen osittaisessa sulamisessa siten, että sulfidia ei jäänyt sulamisjäännökseen.

Barberton-tyypin komatiitit ovat köyhtyneet vaihtelevassa määrin sekä Os:n ja Ir:n että Pt:n ja Pd:n suhteen. Jamalin näyte R304/159,00–159,20 on rikastunut Rh:n suhteen. Näyte on rikastunut lisäksi Au:n ja Cu:n suhteen (sisältää 124 ppb kultaa ja 0,52 % kuparia).

Suolameren näytteet on esitetty omana kuvana kohteen epäselvän luonteen vuoksi. Myös PGE-jakauma poikkeaa muista analysoiduista näytteistä: näytteet ovat Os-Ir-Ru-köyhtyneitä ja Rh-Pt-Pd-rikastuneita. Sopeutumattomien Rh:n, Pt:n ja Pd:n rikastuminen suhteessa sopeutuviin Ru:iin, Ir:iin ja Os:iin viittaa alhaisen asteen osittaiseen sulamiseen, jossa sulfidit jäävät sulamisjäännökseen (Arndt et al. 2008).



### 6.3. REE-analyysit

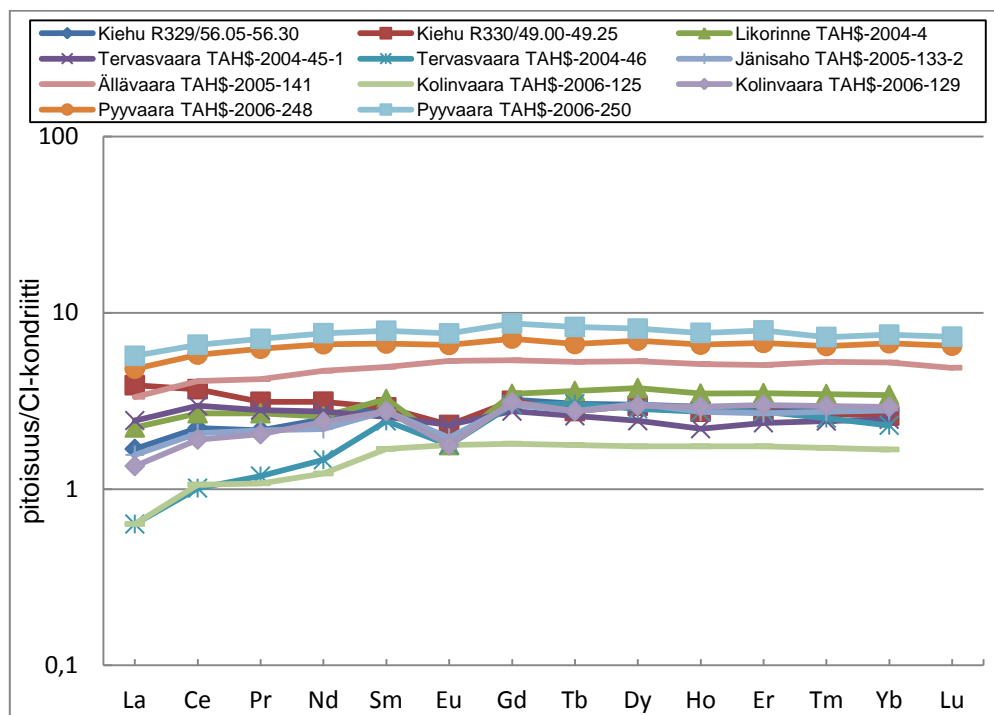
Harvinaisten maametallien jakaumat vaihtelevat suuresti sekä Munro- että Barberton-tyyppin komatiiteissa, mutta niissä on havaittu muutamia yleisiä trendejä (Arndt et al. 2008). Munro-tyyppin komatiiteille on tyypillistä köyhtyminen kevyiden maametallien suhteen (LREE) raskaiden maametallien (HREE) kuvaajien ollessa tasaisia. Barberton-tyyppin komatiitit ovat HREE:sta köyhtyneitä ja LREE:n suhteen joko tasaisia/hieman rikastuneita tai köyhtyneitä. Kaikissa komatiiteissa REE-pitoisuudet kasvavat MgO-pitoisuuden kasvaessa (Beswick 1982).

Tutkimuskohteet voidaan jakaa neljään ryhmään CI-kondriittinormalisoitujen kevyiden (LREE) ja raskaiden (HREE) harvinaisten maametallien jakaumien perusteella (Kuva 12).

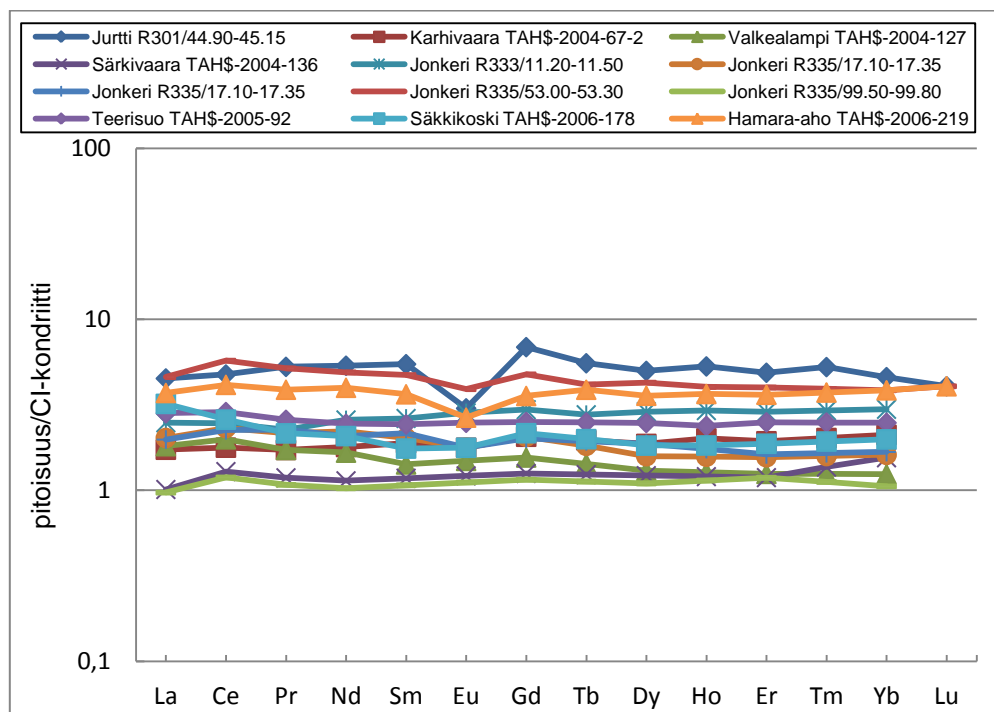
- (A) heikosti LREE:n suhteen köyhtyneet kohteet, HREE tasainen:  
Likorinne, Tervasvaara, Teerisuo, Ällävaara, Jänisaho, Kolinvaara, Kiehu ja Pyyvaara
- (B) tasaisen tai heikosti rikastuneen LREE-kuvaajan antavat kohteet, HREE tasainen:  
Jonkeri, Karhivaara, Hamara-aho, Särkivaara, Säkikoski, Teerisuo, Jurtti, Säkikoski ja Valkealampi
- (C) heikosti LREE:n suhteen rikastuneet ja HREE:n suhteen köyhtyneet kohteet:  
Louhimo, Näätävaara, Jamali
- (D) voimakkaasti LREE:n suhteen rikastuneet ja HREE:n suhteen köyhtyneet kohteet:  
Suolameri, Koskivaara.

REE-analyysien tulokset on esitetty myös Liitteessä 3.

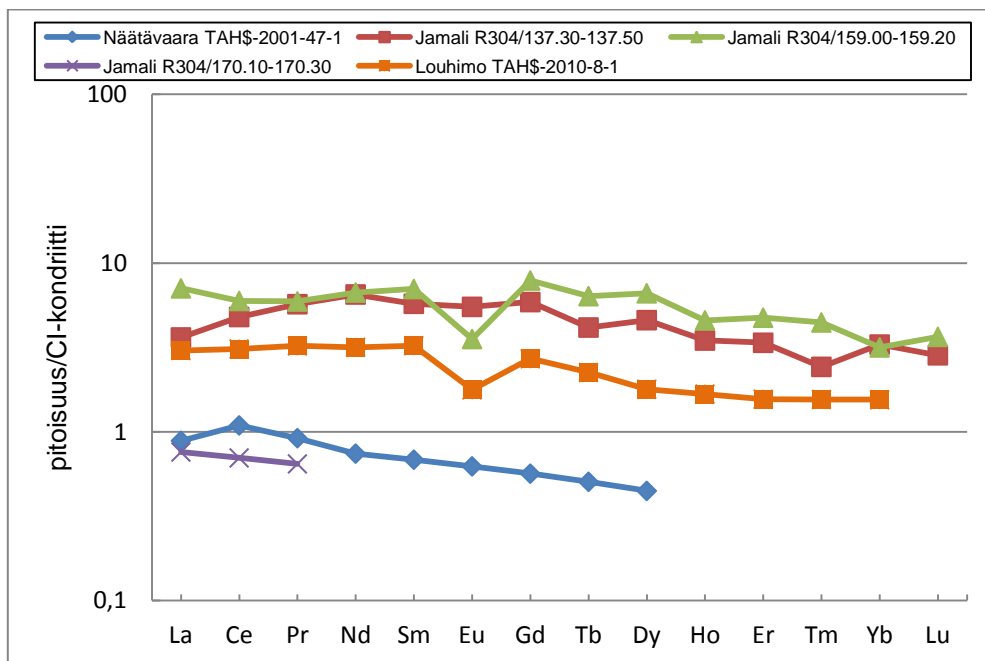
(A)



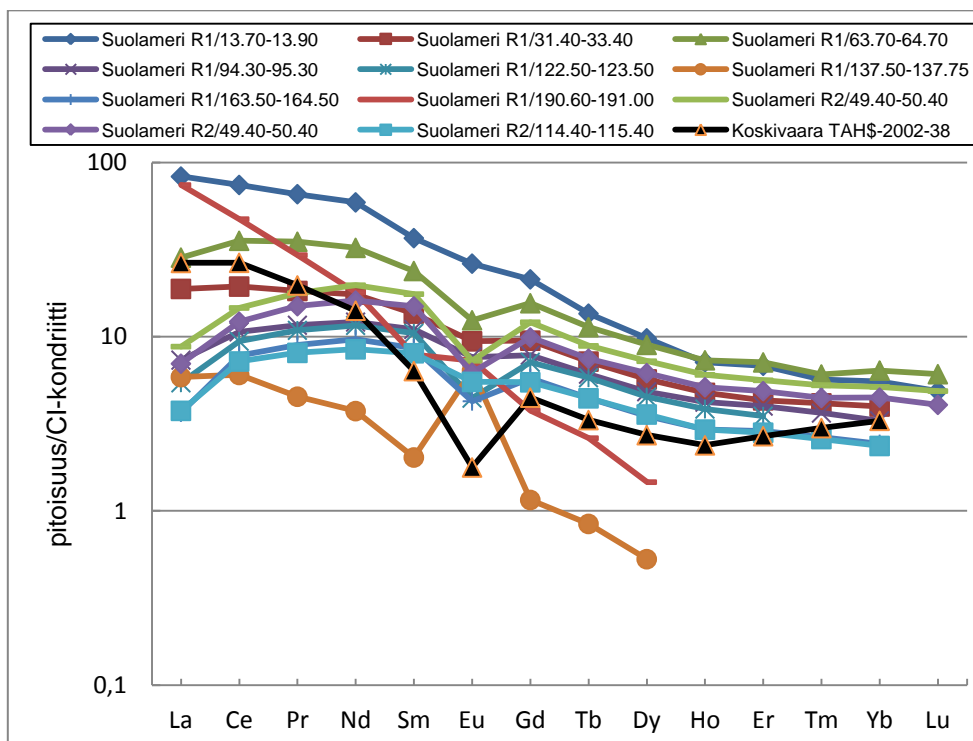
(B)



(C)



(D)



Kuva 12. CI-kondriittinormalisoidut REE-kuvaajat ryhmien A, B, C ja D näytteille (CI-kondriittiarvot, McDonough ja Sun 1995). Alle määrittärajaa olevat arvot on korvattu alkuainetta edeltävän ja siitä seuraavan alkuaineen pitoisuuksien keskiarvolla. Poikkeuksena jos tämä keskiarvo on ollut suurempi kuin kyseisen alkuaineen määrittärajaa, on käytetty määrittärajaa pitoisuuden arvona. Kesken loppuvilla kuvaajilla kaikki loppumiskohdan jälkeiset REE-alkuaineet ovat alle määrittärajaa.

CI-kondriittinormalisoidut REE-kuvaajat vahvistavat  $(\text{Gd/Yb})_{\text{N}}\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ -kuvaajan pohjalla tehdyn jaon Munro- ja Barberton-tyypin komatiitteihin. Ryhmien A ja B komatiitit ovat Munro-tyyppiä. Ryhmän A REE-kuvaajat ovat Munro-tyypin komatiiteille tyypillisiä. Ne ovat köyhtyneet LREE:n suhteen, ja niiden HREE-kuvaaja on tasainen. Ryhmän B REE-kuvaajat ovat tasaisia tai Säckikosken ja Valkealammen tapauksessa jopa LREE:n suhteen rikastuneita. LREE:n suhteen rikastuminen johtuu luultavasti felsisestä kontaminaatiosta ja/tai muuttumisesta (Makkonen ja Halkoaho 2007). Näytteillä on Munro-tyypin komatiiteille tyypillinen tasainen HREE-kuvaaja.

Ryhmän C kuvaajat laskevat pienellä kulmalla lantaanista lutetiumiin. HREE-köyhtyminen viittaa Barberton-tyyppiin, mutta se voi johtua ainakin osittain kivien talkki-karbonaattimuuttumisesta (Halkoaho ja Papunen 1998). Näätävaaran näytteen ja Jamalin R304/170,10–170,30 -näytteen poikkeuksellisen alhaiset REE-arvot johtuvat ainakin osittain näytteiden korkeista MgO-pitoisuuksista (Beswick 1982). Näätävaaran näytteen MgO-pitoisuus on 42,0 % ja Jamalin R304/170,10–170,30 -näytteen 39,0 %.

Ryhmän D kuvaajat ovat poikkeuksellisen rikastuneita LREE:n suhteen ja köyhtyneitä HREE:n suhteen. Koskivaaran ainoa näyte olisi  $(\text{Gd/Yb})_{\text{N}}\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ -diagrammin perusteella Munro-tyyppiä, mutta näytteen hyvin voimakas rikastuminen LREE:n suhteen on hyvin epätyypillistä Munro-tyypille. LREE-rikastuminen johtuu luultavasti näytteen voimakkaasti karbonaattiutumisesta (hieen perusteella noin 45 % karbonaattia). Karbonatiiteille on tyypillistä korkea REE-pitoisuus ja voimakas fraktioituminen LREE:n ja HREE:n välillä (Loubet et al. 1972).

Suolameren näytteet ovat Koskivaaran näytteen tavoin HREE:n suhteen köyhtyneitä, mutta niiden LREE-trendi eroaa Koskivaarasta. Suurin osa Suolameren näytteistä on köyhtynyt lantaanin ja ceriumin suhteen verrattuna muihin kevyisiin maametalleihin. REE-jakauma on hieman kumpumainen. Hanski et al. (2001) on saanut hieman samantyyppisiä kumpumaisia REE-kuvaajia Lapin vihreäkivivyöhykkeen komatiiteille ja komatiittisille basalteille. Lapin kivissä LREE-köyhtyminen on Hanskin et al. (2001) mukaan primäärinen trendi. Lapin vihreäkivivyöhykkeen kivissä LREE-köyhtyminen on tosin merkittävästi voimakkaampaa eikä se rajoitu pelkästään lantaaniin ja ceriumiin.

Monessa näytteessä esiintyy REE-kuvaajassa selkeä negatiivinen Eu-anomalia. Lodderson (1996) mukaan sulfidisysteemeissä europium menee voimakkaammin sulfidifaasiin kuin viereiset Sm ja Gd. Joten jos magmaattisessa systeemissä on sulfidifaasi, on Eu konsentroitunut siihen. Tasapainossa olevasta silikaattisulasta kiteytyvät kivet saavat näin negatiivisen Eu-anomalian. Eu-anomalia olisi siis merkki sulfidisulan erkaantumisesta. Tosin Sunin ja Nesbittin (1978) mukaan Eu-anomalia johtuu lähinnä muuttumisesta.

#### **6.4. Petrografinen kuvaus**

Tätä opinnäytettä varten tutkittiin polarisaatiomikroskoopilla yhteensä 50 ohuthiettä. Kutakin tutkimuskohdetta edusti vähintään yksi ohuthie. Lisäksi vertailukohtana tutkittiin viisi ohuthiettä Tainiovaaran Ni-rikkaasta komatiittilinssistä. Valikoiduista hieistä teetettiin lisäksi elektronimikroanalyyseja mineraalien tunnistamiseksi ja/tai niiden koostumuksen selvittämiseksi. Elektronimikroanalyysit on esitetty Liitteissä 4 (silikaatit ja oksidit) ja 5 (sulfidit).

Merkittävimmät muuttumisilmiöt tutkituissa ohuthieissä ovat hydraatio ja karbonaattituuminen. Suurimmalla osalla tutkituista kivistä on Itä-Suomen vihreäkivivyöhykkeiden metaperidotiiteille tyypillinen mineraaliseurue: serpentiini + kloriitti + talkki + tremoliitti + karbonaatti + oliviini. Tämä seurue on syntynyt alhaisen paineen vihreäliuskeamfiboliittifasieksen oloissa (Auvray et al. 1982). Koska monet tutkitut näytteet poikkesivat tästä koostumuksesta, on alla esitetty lyhyesti tutkimuskohteiden mineralogia. Oliiviini- ja pyrokseenikoostumukset käsitellään kappaleessa 6.5 ja malmimineralogia kappaleessa 6.6..

##### *6.4.1. Särkivaara*

Särkivaaran kaksi näytettä edustavat sekä hydraation että karbonaattituumisen läpikäyneitä komatiitteja. Alkuperäisestä mineralogiasta ei ole mitään jäljellä, mutta vanhat raerajat erottuvat opaakkien mineraalien rajaamana. Mineraaliseurue näytteissä on ser-

pentiini + talkki + karbonaatti (+ tremoliitti). Tremoliitti on läsnä vain toisessa näytteistä.

#### *6.4.2. Teerisuo*

Teerisuon ainoa näyte edustaa hydraation läpi käynyttä täysin muuttunutta komatiittia. Serpentiiniä ja tremoliittia on kivistä yhteensä jopa 85 %. Primääristen mineraalien puuttumisesta huolimatta alkuperäinen kumulustekstuuri erottuu selvästi. Näyte on myös jonkun verran karbonaattiutunut (noin 10 % karbonaattia).

#### *6.4.3. Valkealampi*

Valkealammen ainoa näyte edustaa hydraation läpikäynyttä komatiittia. Päämineraalit ovat serpentiini, oliviini, amfiboli ja kloriitti. Oliiviinia on näytteessä 15 %. Mineraaliseurueen perusteella näyte on metamorfoitunut vihreäliuskefasieksen oloissa.

#### *6.4.4. Hamara-aho*

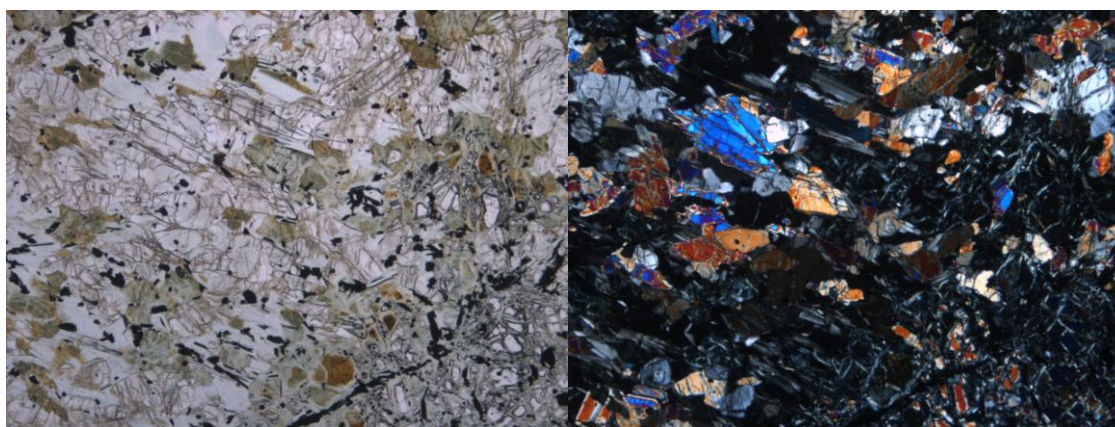
Hamara-ahon ainoa näyte edustaa hydraation läpi käynyttä voimakkaasti muuttunutta komatiittia. Primäärisestä mineralogiasta muistuttaa ainoastaan aksessorinen voimakkaasti iddingsiittiytynyt oliviini. Serpentiini ja tremoliitti muodostavat yhteenlaskettuna 75 % kivistä.

#### *6.4.5. Kiehu*

Kiehun kohteesta tutkittiin kaksi ohuthiettä: yksi hie kummastakin kairatusta ultramafisesta kappaleesta. Näyte R329/56,05 edustaa hydraation läpikäynyttä komatiittia. Se koostuu tremoliitista (65 %), kloriitista (15 %) ja opaakeista (20 %). Näytteessä R330/49,00 on vaikuttanut sekä hydraatio että karbonaattiutuminen hydraation ollessa kuitenkin vallitseva muuttumisolmiö. Mineraaliseurue on kloriitti (40 %) + tremoliitti (30 %) + karbonaatti (10 %) + talkki (10 %) + opaakit (10 %). Kumpikaan näyte ei sisällä lainkaan serpentiiniä, mikä viittaisi vähintään keskiasteen amfiboliittifasieksen metamorfoosiin.

#### 6.4.6. Lummesuo

Lummesuon ultramafisesta linssistä tutkittiin neljä ohuthiettä, joista kaksi edustaa R1-kairasydämen ultramafiitteja, yksi R2-kairasydämen ultramafiittia ja yksi R3-kairasydämen ultramafiittia. Näytteet edustavat kumulaattista hydraation läpikäynyttä komatiittia. Mineraaliseurue näytteille on serpentiini + tremoliitti + kloriitti + klinopyrokseeni + oliviini (+ karbonaatti) (kuva 13). Karbonaatti on läsnä vain näytteissä R1/112,40 ja R2/78,70. Syvemmältä olevat näytteet (R1/112,40 ja 110,20) ovat serpentiinirikkaampia kuin matalammalta olevat näytteet.

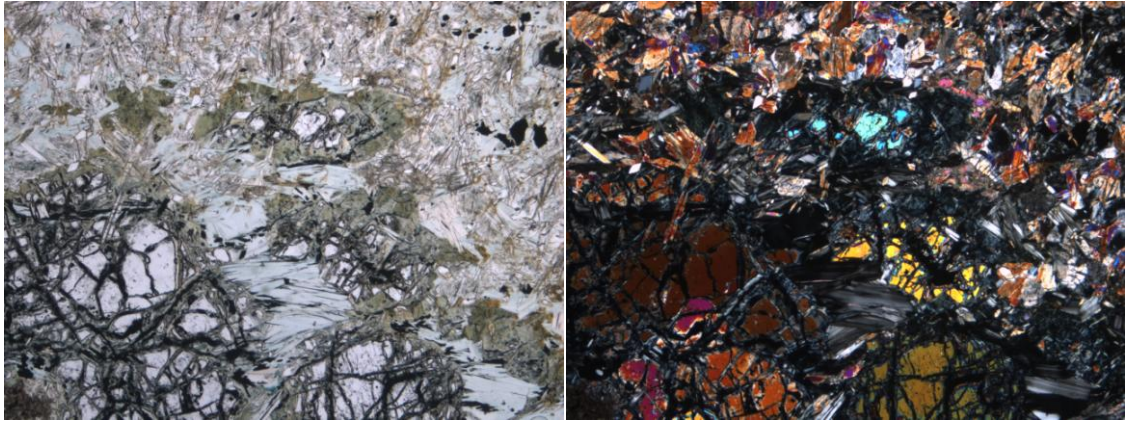


Kuva 13. Lummesuon näyte R1/60.90. Näkymän päämineraalit ovat tremoliitti (väritön, toisen asteen keltainen/sininen interferenssiväri), kloriitti (vihreä) ja serpentiini (väritön, ensimmäisen asteen harmaa interferenssiväri). Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Kuvien leveys 4,27 mm.

#### 6.4.7. Jonkeri

Jonkerin kohteesta tutkittiin neljä ohuthiettä, joista yksi edusti R333-kairasydämen serpentiinitremoliittikiviläivistystä ja kolme R335-kairareian tremoliitti-serpentiinipitoisia läivistyksiä. Mineraaliseurue hieissä on serpentiini + tremoliitti + kloriitti + oliviini. Näyte R335/17,10 on muita näytteitä voimakkaammin serpentiiniytynyt: siinä ei ole oliviinia ja serpentiiniä on jopa 70 %. Näytteessä R335/53,00 oliviinia on 20 % (sekä 5 % sen muuttumistulosta iddingsiittiä) (Kuva 14). Alkuperäinen kumulustekstuuri on selkeästi havaittavissa. Hydraatio on ollut vallitseva muuttumisilmiö Jonkerin komatiittilinsseissä: karbonaattia on vain kahdessa näytteistä ja niissäkin alle 5 %.

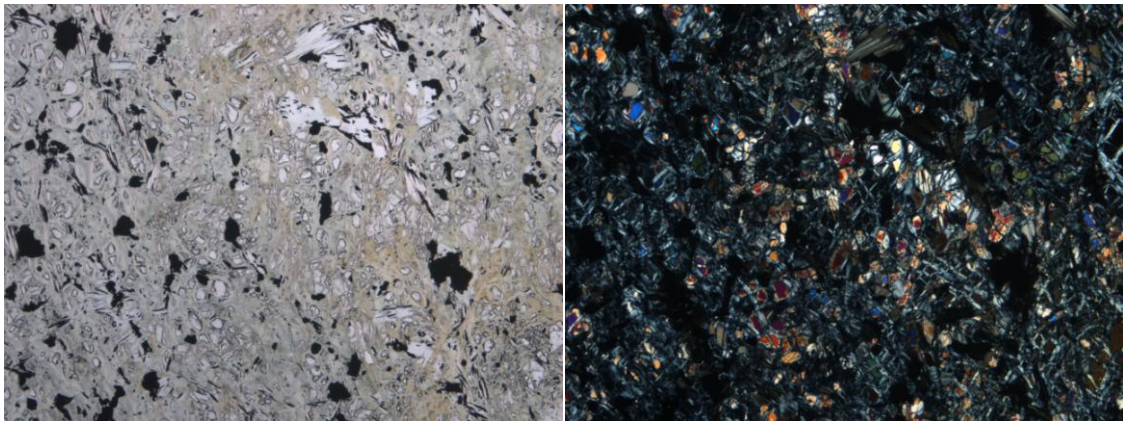




Kuva 14. Jonkerin näyte R335/53,00. Näkymän alaosan korkeamman reliefin mineraali on oliiviini. Muut näkymän mineraalit ovat serpentiini, tremoliitti ja kloriitti. Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Kuvien leveys 4,27 mm.

#### 6.4.8. Tervasvaara

Tervasvaarasta tutkittiin kaksi ohuthiettä, jotka edustavat kahta erillistä serpentiniittipaljastumaa. Näytteet edustavat hydraation läpikäyneitä komatiitteja (Kuva 15). Toisessa näytteessä on myös heikkoja merkkejä karbonaattiutumisen (talkkia 5 %). Molemmissa näytteissä on erotettavissa kumulaattitekstuuri. Oliiviinia on näytteissä 5–10 %.



Kuva 15. Tervasvaaran näyte TAH\$-2004-45.1. Näkymän päämineraalit ovat serpentiini ja tremoliitti. Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Kuvien leveys 4,27 mm.

#### 6.4.9. Karhivaara

Karhivaaran kohteelta tutkittiin yksi ohuthie, joka edustaa Karhivaaran pohjoisemman ultramafisen kohteen ultramafista kiveä (kenttä nimi: serpentiinitremoliittikivi). Ohut-



hietutkimuksen perusteella näyte edustaa hydraation läpikäynyttä komatiittia, jossa kloriitti ja serpentiini ovat päämineraalit. Iddingsiittiä on noin 10 %.

#### *6.4.10. Jänisaho*

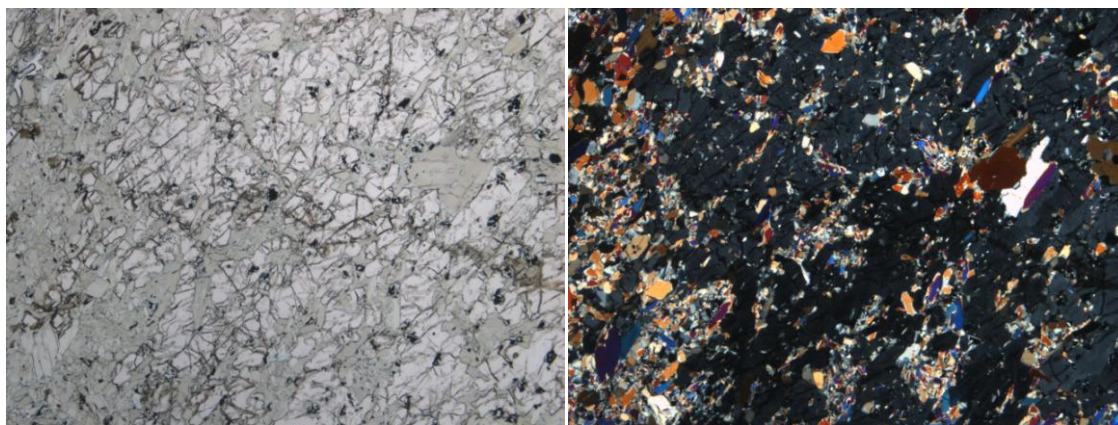
Jänisahon kohteesta tutkittiin yksi ohuthie. Näyte edustaa amfiboliittifasiuksen oloissa hydraation läpikäynyttä komatiittia. Päämineraalit (serpentiini, kloriitti ja tremoliitti) muodostavat kiveen raitaisen tekstuurin.

#### *6.4.11. Pyyvaara*

Pyyvaaran kohteesta tutkittiin kaksi ohuthiettä. Mineraaliseurue on klinopyrokseeni + oliviini + iddingsiitti + plagioklaasi + amfiboli + opaakit. Lisäksi toisessa näytteistä on aksessorista biotiittia ja kloriittia. Klinopyrokseeni esiintyy pieninä uudelleenkiteytyneinä polygonaalisisina rakeina. Myös oliviini on uudelleenkiteytynyt, mutta sen alkupe-  
räiset raerajat ovat vielä erotettavissa.

#### *6.4.12. Ällävaara*

Ällävaaran kohteesta tutkittiin yksi ohuthie. Näyte edustaa kumulaattista oliviiniwebste-  
riittia. Päämineraalit ovat pyrokseeni (60 %), tremoliitti (15 %), oliviini (10 %), kloriitti (10 %) ja iddingsiitti (5 %) (Kuva 16). Lisäksi kivessä on aksessorisena mineraalina flogopiittia. Pyrokseeni esiintyy sekä omamuotoisina primäärisinä kumulusrakeina (n. 2/3 pyrokseenista) että uudelleenkiteytyneenä interkumulusrakeina. Ainakin kumulus-  
pyrokseenit vaikuttaisivat olevan ortopyrokseenia. Ortopyrokseenin lisäksi olivii-  
ni/iddingsiitti on kumulusmineraali. Interkumulusmineraaleja ovat uudelleenkiteytyneen  
pyrokseenin lisäksi tremoliitti ja kloriitti.



Kuva 16. Ällävaaran näyte TAH\$-2005-141. Näkymässä on suuri rikkonainen ortopyrokseenikumulusrae, joka sulkee sisäänsä kloriittia ja uudelleenkiteytynyttä pyrokseenia. Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Kuvien leveys 4,27 mm.

#### 6.4.13. Kolinvaara

Kolinvaaran kohteesta tutkittiin kaksi ohuthietä. Näytteet edustavat amfiboliittiasteessa metamorfoituneita komatiitteja. Näyte TAH\$-2006-125 koostuu pääosin serpentiinistä (75 %). Muut päämineraalit ovat talkki (15 %) ja opaakit (10 %). Näytteen TAH\$-2006-129 mineraaliseurue on monipuolisempi: serpentiini + tremoliitti + oliviini + kloriitti + iddingsiitti + talkki. Oliiviini esiintyy sekundäärisinä porfyroblasteina, ja sitä ympäröi oranssi iddingsiittikuori. Sekundäärinen oliiviini on merkki amfiboliittifasieksen metamorfoosista (Hill et al. 1988).

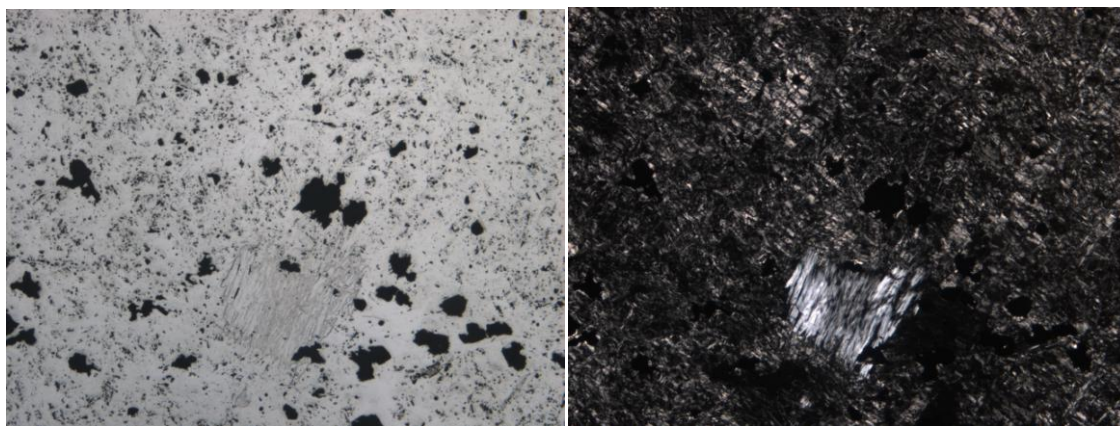
#### 6.4.14. Säkikoski

Säkikosken tutkimuskohteelta tutkittiin yksi ohuthie. Se edustaa vihreäliuskefasieksen oloissa metamorfoitunutta komatiittia. Päämineraalit ovat serpentiini (70 %), talkki (15 %), kiillemineraali (mahdollisesti muskoviitti) (5 %) ja opaakit (5 %).

#### 6.4.15. Näätävaara

Näätävaaran ainoa näyte koostuu antofylliitistä (85 %) ja opaakeista mineraaleista (15 %). Kentällä kivilaji on aikaisemmin nimetty serpentiniitiksi, mutta elektronimikroanalyyysien perusteella kiven väritön päämineraali on antofylliitti. Antofylliittiä on kivessä kahta eri tyyppiä (Kuva 17). Osittain omamuotoisella tyyppillä on sinertävä 1° in-

terferenssiväri, kun taas vierasmuotoisella tyypillä interferenssiväri on hieman kellertävä. Omamuotoisella tyypillä on lisäksi suurempi taitekerroin. Geokemialtaan suurin ero on  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :ssa, jota on vierasmuotoisessa tyypissä 1,0–2,8 %. Omamuotoisessa  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -pitoisuudet jäävät alle määritysrajan ( $\text{Al} < 335 \text{ ppm}$ ). Omamuotoisella tyypillä on noin kaksi prosenttiyksikköä suurempi  $\text{MgO}$ -pitoisuus ja noin kolminkertainen  $\text{MnO}$ -pitoisuus (0,09–0,12 %). Vierasmuotoisella tyypillä  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -pitoisuus on yli määritysrajan kaikissa analyyseissa (0,03–0,13 %).



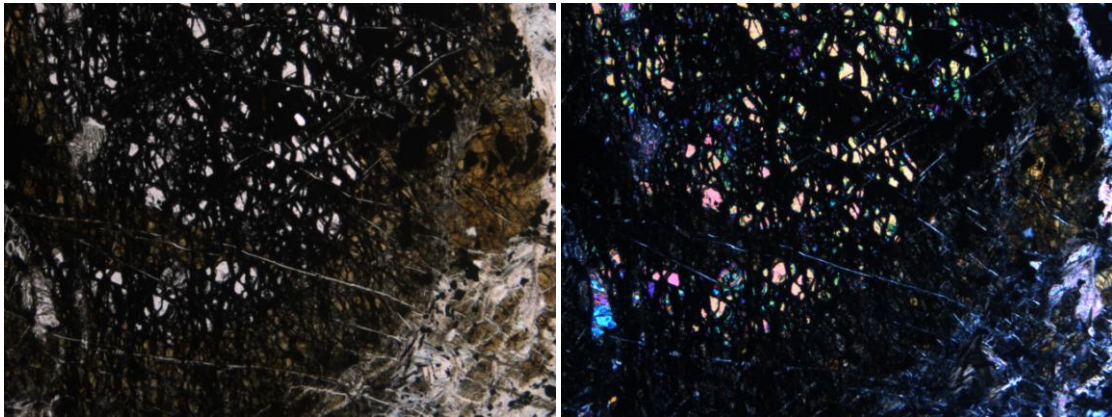
Kuva 17. Näätävaaran antofylliittirikas näyte. Kuvien keskellä on osittain omamuotoinen antofylliittirae. Myös näkymän vierasmuotoinen päämineraali on antofylliitti. Opaakit mineraalit ovat magnetiitteja. Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Näkymän leveys 4,27 mm.

Antofylliitti on talkin hajoamistuote (Bucher ja Frey 2002). Sen esiintyminen on merkki vähintään amfiboliittifasioksen metamorfoosista, jossa on ollut mukana hiilidioksidipitoisia metamorfisia fluideja. Näätävaaran näyte edustaa siis  $\text{CO}_2$ :n läsnä ollessa metamorfoitunutta vuolukiveä.

#### 6.4.16. Jurtti

Jurtin tutkimuskohteelta tutkittiin kaksi ohuthiettä. Ne edustavat R301-kairareian lävistämää raitaista ultramafista linssiä. Raitaisuus näkyy etenkin näytteessä R301/24,80 m, jossa hieen toinen puoli on serpentiniittiä ja toinen tremoliittikiveä. Toinen ohuthie (R301/60,75 m) edustaa tremoliitti-serpentiinikiveä (Kuva 18). Näytteet ovat metamorfoituneet amfiboliittifasioksen oloissa. Vähintään amfiboliittiasteen metamorfoosia tukee metamorfisen oliviinin läsnäolo molemmissa näytteissä ja ylemmän näytteen anto-

fylliittipitoisuus. Hydraatio on ollut näytteissä voimakasta, mutta merkkejä karbonaattiutumuksesta ei ole.



Kuva 18. Jurtin näyte R301/60,75 m. Metamorfista oliviinia, joka on muuttunut iddingsiitiksi ja serpentiiniksi. Vasemmanpuoleisessa kuvassa nukleolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nukleolit ovat ristissä. Kuvien leveys 4,27 mm.

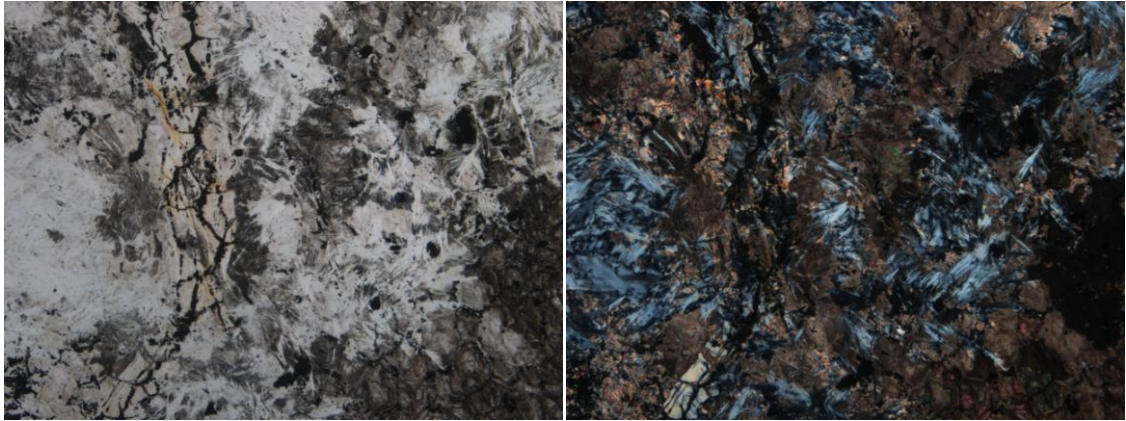
#### 6.4.17. *Likorinne*

Likorinteen näyte edustaa hydraation läpikäynyttä komatiittia. Serpentiini ja tremoliitti muodostavat 75 % tutkitusta hieestä. Rakenteeltaan näyte on suuntautunut ja raitainen. Karbonaatti täyttää rakoja granulaarisina rakeina. Mineraaliseurueen perusteella näyte on metamorfoitunut amfiboliittifasieksen oloissa.

#### 6.4.18. *Koskivaara*

Koskivaaran ainoa näyte edustaa hydraation ja karbonaattiutumisen läpikäynyttä kumulaattista komatiittia (Kuva 19). Karbonaattia on noin 45 % näytteestä ja kuitumaista serpentiiniä noin 35 %. Opaakit mineraalit ja karbonaatti reunustaa täysin serpentiiniytyneitä kumulusrakeita. Mineraaliseurueen perusteella näyte on metamorfoitunut vähintään vihreäliuskefasieksen oloissa.





Kuva 19. Koskivaaran näyte TAH\$-2002-38-1. Näkymän mineraalit ovat serpentiini ja karbonaatti. Etenkin vasemman puoleisessa kuvassa erottuu opaakkien mineraalien ja karbonaatin rajaama kumulaattitekstuuri. Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Kuvien leveys 4,27 mm.

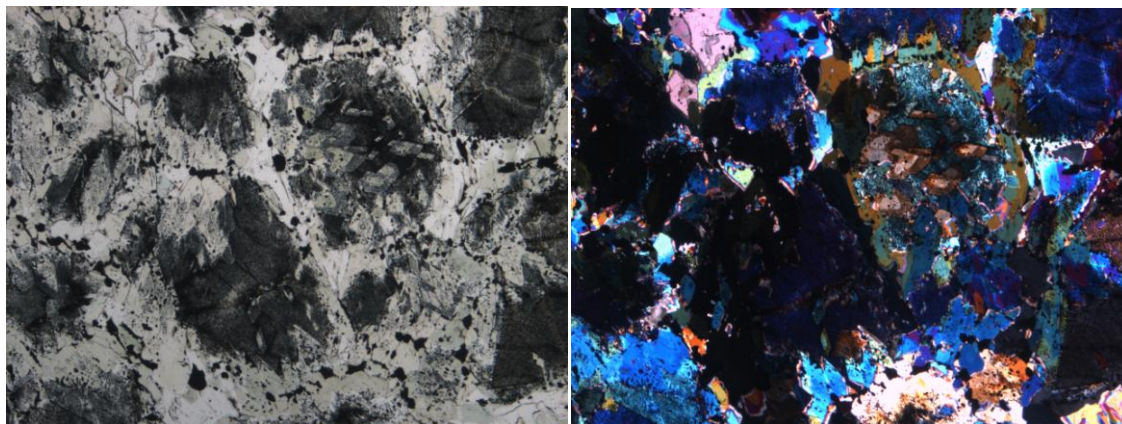
#### 6.4.19. Jamali

Jamalin kohteelta tutkittiin kahdeksan ohuthiettä: kaksi R302-kairareiästä ja kuusi R304-kairareiästä. Molemmat kairareiät leikkaavat serpentiniittilinssiä. Ultramafista linssiä edustavat näytteistä R304-kairasydämen syvyyksiltä 161,0 m, 170,1 m, 181,9 m ja 190,0 m olevat näytteet. Ultramafista linssiä ympäröivää pyrokseeni-tremoliittikiveä edustavat näytteet R302/166,5 m, R304/137,3 m ja R304/155,9 m. Näyte R302/114,5 m edustaa tremoliittikiven päällä olevaa amfiboliittia.

Serpentiniittilinssin päämineraalit ovat neljän tutkitun ohuthieen perusteella serpentiini (n. 30 %), karbonaatti (n. 30 %) ja talkki (n. 20 %). Opaakkeja on 10–20 %. Serpentiini ja talkki esiintyvät vierasmuotoisena ja karbonaatti osittain omamuotoisena. Näytteissä on havaittavissa kumulustekstuuri. Syvimältä oleva näyte poikkeaa muista ollen selvästi karbonaattirikkaampi ja serpentiiniköyhempi. Serpentiini esiintyy tässä näytteessä vierasmuotoisena muiden mineraalien seassa sekä itsenäisinä raitoina.

Serpentiniittia ympäröivä kivilaji koostuu pääosin klinopyrokseenista (35–65 %) ja amfibolista (20–50 %) (Kuva 20). Karbonaattia on 5–10 %. Opaakkeja mineraaleja on 5–10 %. Kivilaji on selvästi kumulaattinen. Klinopyrokseeni on kivilajin pääasiallinen kumulusmineraali. Se on pääosin omamuotoista ja voimakkaasti muuttunutta. Näytteessä R304/155,90 on muuttuneen pyrokseenin lisäksi uudelleenkiteytyntä granoblastista

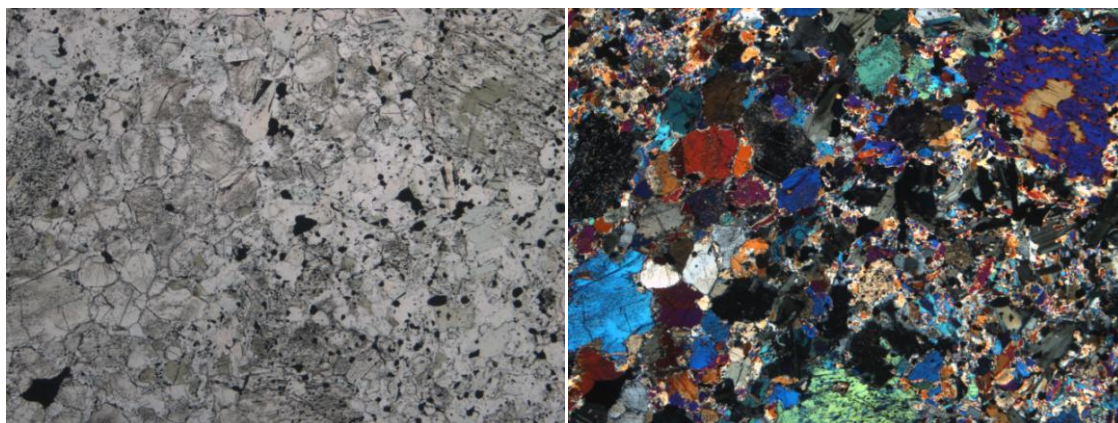
pyrokseenia. Amfiboli on vyöhykkeistä näytteessä R304/155,9 m: kiteiden sisäosa on pleokroinen vihreän sävyissä, mutta reunat ovat värittömiä. Näytteessä R304/137,3 m amfiboli on vihreän pleokroista, kun taas näytteessä R302/166,50 m amfiboli on väriltöntä. Amfiboli esiintyy pääasiassa interkumulusmineraalina. Amfiboliittinäyte R302/114,5 m koostuu vyöhykkeellisestä amfibolista (70 %), biotiitista (10 %), karbonaatista ja opaakeista mineraaleista (10 %).



Kuva 20. Näyte Jamalin R304-kairasydämen syvyydeltä 137,30 m. Näyte edustaa varsinaista ultramafista linssiä ympäröivää kumulaattista klinopyrokseeni-amfibolikiveä. Näkymän mineraalit ovat klinopyrokseeni (muuttunut, kumulusmineraali) ja amfiboliitti (interkumulusmineraali). Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Näkymän leveys 4,27 mm.

#### 6.4.20. Suolameri

Suolameren kohteesta tutkittiin kuusi ohuthiettä. Suolameri eroaa mineralogialtaan selvästi muista tutkimuskohteista. Mineraaliseurue on klinopyrokseeni + amfiboli + kloriitti + oliviini/iddingsiitti + talkki/tremoliitti + serpentiini (Kuva 21). Klinopyrokseenin määrä vaihtelee välillä 20 - 40 %. Klinopyrokseeni esiintyy omamuotoisina kiteinä, jotka ovat täynnä tikkumaisia sulkeumia (mahdollisesti rutiilia). Näytteessä R1/63,70 on koko ohuthieen lävistävä klinopyrokseeniraita. Täysin bastiittiutunutta ortopyrokseenia esiintyy ainakin kahdessa näytteessä. Amfiboli on näytteissä haalean vihreän pleokroista. Osassa näytteistä amfibolirakeet ovat reunoilta tremoliittiutuneet. Kloriittia esiintyy neljässä näytteessä. Oliiviinia esiintyy vain kahdessa hieessä, mutta sen muuttumistulosta iddingsiittiä neljässä.



Kuva 21. Suolameren R1-kairareistä syvyydeltä 63,70 m oleva näyte. Näkymän päämineraalit ovat klino-pyrokseeni (toisen asteen interferenssivärit), kloriitti (ensimmäisen asteen harmaa interferenssiväri), vyöhykkeellinen amfiboli (vihreä) ja talkki (vierasmuotoinen, korkean asteen interferenssivärit). Vasemmanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat suorassa. Oikeanpuoleisessa kuvassa nikolit ovat ristissä. Kuvien leveys 4,27 mm.

Talkki esiintyy hienorakeisena muiden mineraalien väleissä. Serpentiiniä esiintyy ainoastaan näytteessä R1/163,50, jossa sitä on noin 25 %. Näytteessä R1/31,40 esiintyy noin 15 % kiillettä, jolla on haalean ruskea pleokroismi (luultavasti flogopiitti). Karbonaattia esiintyy vain näytteessä R1/99,30 ja siinäkin se on aksessorinen mineraali. Suolameren kohteella hydraatio ja karbonaattiutuminen eivät ole olleet merkittäviä prosesseja.

#### 6.4.21. Louhimo

Louhimon tutkimuskohteesta tutkittiin yksi ohuthie. Näyte (TAH\$-2010-8) edustaa hydraatiossa täysin serpentiiniytynyttä komatiittia (serpentiiniä 70 %). Näyte on myös heikosti karbonaattiutunut. Talkkia on näytteestä 10 %.

#### 6.4.22. Tainiovaara

Tainiovaaran ultramafinen kohde edustaa viiden tutkitun ohuthieen perusteella täysin serpentiiniytynyttä komatiitin kumulaattiosaa. Serpentiinin määrä vaihtelee välillä 40 - 80 %. Karbonaattiutuminen on voimakasta (karbonaattia enimmillään jopa 40 % hieestä). Tremoliittia on vain yhdessä tutkitusta hieistä. Sekundääristä oliviinia ei tavattu yhdestäkään tutkitusta näytteestä. Oliiviinin puuttuminen ja tremoliitin vähyys viittaisi muita tutkimuskohteita heikompaan metamorfoosiin. Retrograadinen metamorfoosi on

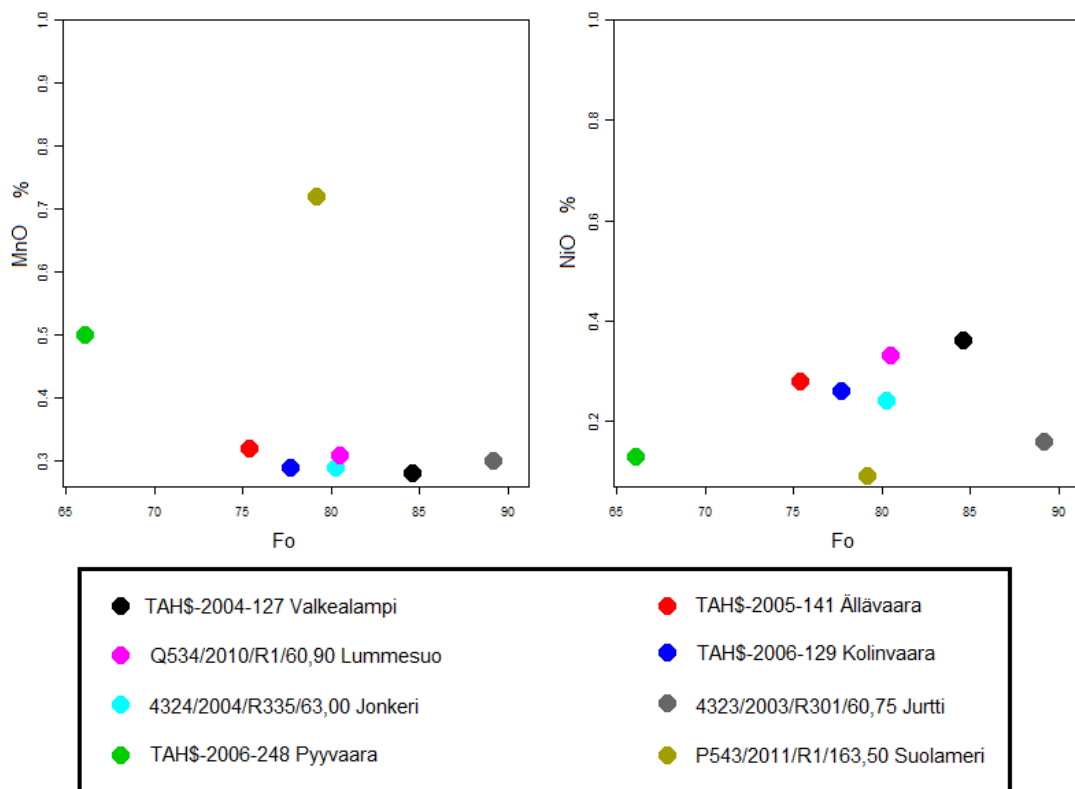
saattanut tosin vaikuttaa mineralogiaan huippumetamorfoosin jälkeen.

## **6.5. Silikaattikoostumukset**

### *6.5.1. Oliivinikoostumukset*

Oliiviini esiintyy tutkituissa ohuthieissä melko pieninä omamuotoisina rakeina (mm. Valkealampi ja Lummesuo) ja isompina lohkeilleina osin iddingsiittiäntyneinä rakeina (mm. Jonkeri ja Jurtti) (Kuva 18). Oliiviinin koostumus tutkittiin elektronimikroanalyysaattorilla kahdeksasta tutkimuskohteesta (Valkealampi, Lummesuo, Jonkeri, Pyyvaara, Ällävaara, Kolinvaara, Jurtti ja Suolameri) (Kuva 22). Kustakin tutkimuskohteesta analysoitiin yksi rae. Tutkittujen oliivinien forsteriittipitoisuus vaihtelee välillä 66,0 – 89,2 %. Selkeästi forsteriittiköyhin oliiviini on Pyyvaarasta. Tyypillinen forsteriittipitoisuus primääriselle oliivinille on noin Fo<sub>90–94</sub> (Arndt et al. 2008). Tutkitut oliviinit ovat siis metamorfisia. Oliivinien forsteriitti- ja NiO-pitoisuuden välillä on heikko positiivinen korrelaatio. Forsteriitti- ja MnO-pitoisuuden välillä ei havaittu korrelaatiota. Suolameren analyysi erottui joukosta korkealla MnO-pitoisuudella (0,72 %). Myös Pyyvaaran näytteessä MnO oli hieman koholla muihin olivineihin verrattuna. Analysoitujen olivinirakeiden koko tai omamuotoisuus ei korreloi forsteriitti-, MnO- tai NiO-pitoisuuksien kanssa.



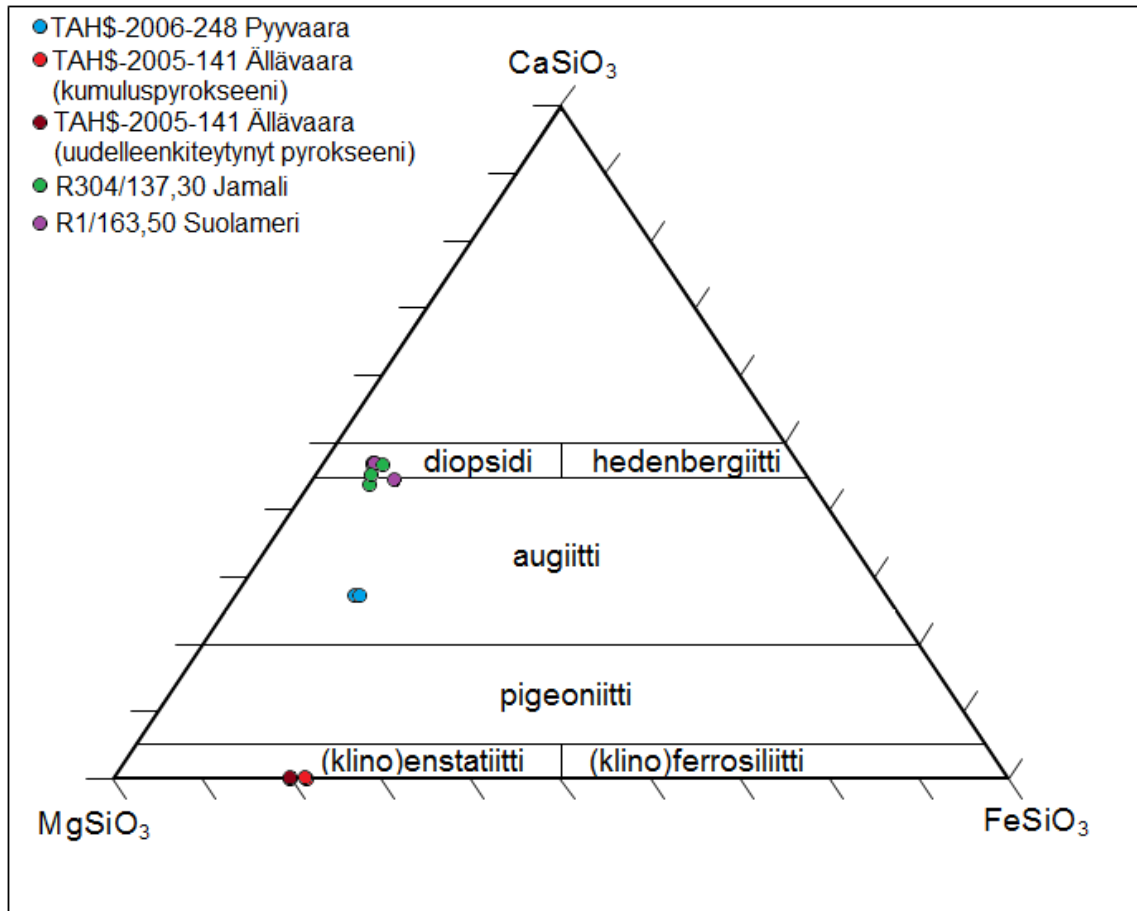


Kuva 22. Analysoitujen oliivinien MnO- ja NiO- sekä forsteriittipitoisuuksien vertailu.

### 6.5.2. Pyrokseenikoostumukset

Pyrokseenien koostumus analysoitiin neljästä ohuthieestä (Kuva 23). Pyrokseenit voidaan olettaa metamorfisiksi, sillä primääristä reliktipyrokseenia esiintyy vain prehniiit-pumpellyiitti asteen kivissä (Hill et al. 1987). Komatiittisissa kivissä metamorfinen klino- ja ortopyrokseeni ovat merkkejä keski-/korkean asteen amfiboliittifasiuksen metamorfoosista. Pyrokseenia esiintyy uudelleenkiteytyneenä polygonaalisena Pyyvaarassa ja Ällävaarassa. Ällävaarassa esiintyy lisäksi karkearakeisempaa kumuluspyrokseenia (Kuva 16), joka ohuthieen perusteella tunnistettiin ortopyrokseeniksi. Jamalin ja Suolameren analysoitu pyrokseeni on voimakkaasti muuttunutta ja/tai sulkeumien täyttämää kumulusklinopyrokseenia (Kuva 20).

Ällävaaran ortopyrokseeni on koostumukseltaan enstatiittia. Kumulus- ja polygonaalinen pyrokseeni eroavat vain vähän koostumukseltaan: kumuluspyrokseeni on hieman rautarikkaampaa. Pyyvaaran pyrokseeni on analyysin perusteella augiittia. Jamalin ja Suolameren pyrokseenit ovat diopsidia/augiittia.



Kuva 23. Pyrokseenikoostumukset (kolmiodiagrammi mukaillen Morimoto et al. 1988).

## 6.5. Malmimineralogia

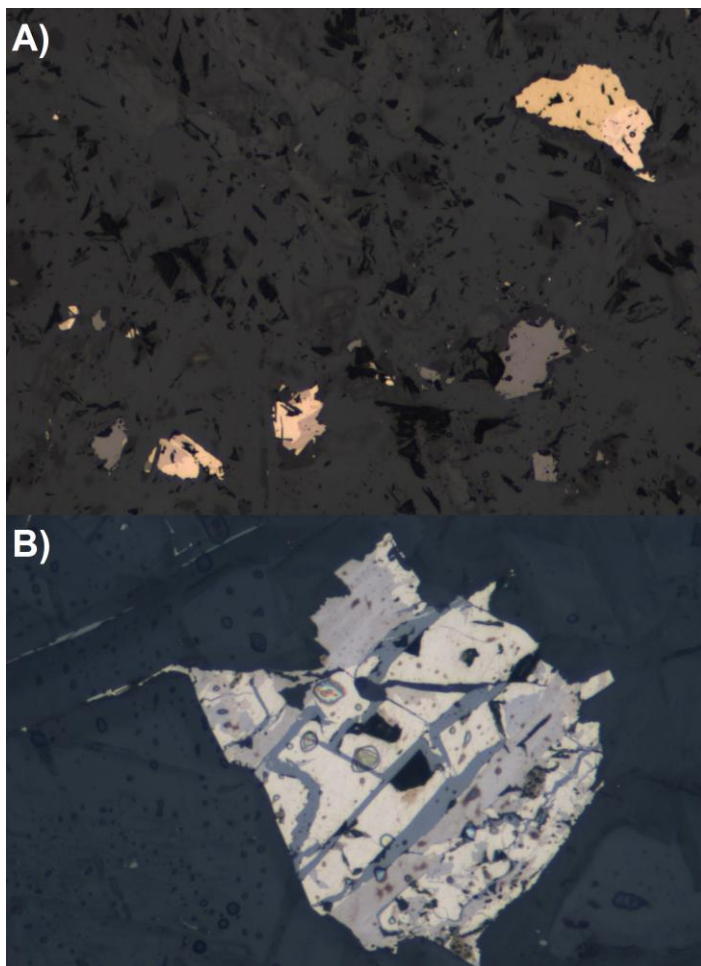
Malmimineralogia tutkittiin 50 ohuthiestä samoin kuten muukin mineralogia. Elektromikroanalysaattoria käytettiin valittujen mineraalin tunnistamiseen ja koostumuksen selvittämiseen. Yleisin malmimineraaliseurue tutkituissa kivisissä on Cr-pitoinen magnetiitti + pentlandiitti + magneettikiisu + kuparikiisu. Tutkimuskohteissa esiintyvät malmimineraalit on esitetty Taulukossa 4.

Taulukko 4. Havaitut malmimineraalit. Suluissa oleva rasti tarkoittaa epävarmaa tunnistusta. "Muu"-sarakkeen mineraalit on tunnistettu käyttäen elektronimikroanalyysejä. Käytetyt lyhenteet: pe = pentlandiitti, po = magneettikiisu, cpy = kuparikiisu, py = rikkikiisu, Cr-FeO = kromirikas magnetiitti, FeO = magnetiitti, FeTiO<sub>3</sub> = ilmeniitti.

kohde	sulfidit:					oksidit:			
	pe	po	cpy	py	muu	Cr-FeO	FeO	FeTiO <sub>3</sub>	muu
Särkivaara	x			x	violariitti	x			
Teerisuo	x	x	x			x		x	
Valkealampi	x					x			
Hamara-aho	x	x				x			
Kiehu	x	x	x			x		x	
Lummesuo	x	x	x			x			
Jonkeri	x	x	x		gersdorfiitti	x			
Tervasvaara						x			
Karhivaara	x						x		götiitti
Jänisaho	x					x		(x)	
Pyyvaara	x	x	x			x		x	
Ällävaara	x	x	x					x	
Kolinvaara	x	x	x			x		x	
Säkkikoski	x	x	x	x		x		x	
Näätävaara						x			
Jurtti	x	x				x			
Likorinne	x					x			
Koskivaara				x	milleriitti, siegeniitti/violariitti	x	x		rutiili, pseudorutiili
Jamali	x		x	x	sinkkivälke	x	x		
Suolameri	x	x	x			x			
Louhimo	x	x	x			x			
Tainiovaara	x	x	x	x		x			

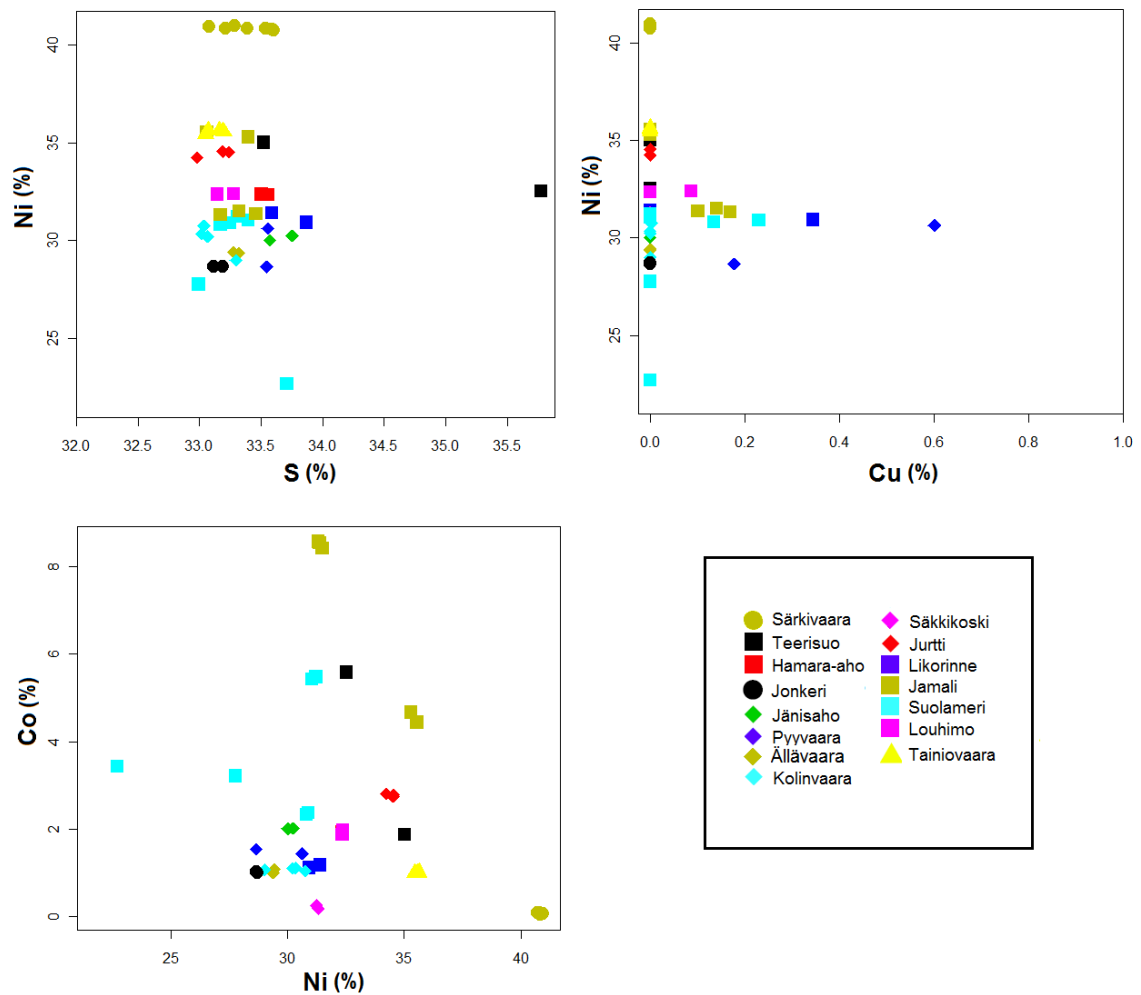
#### 6.5.1. Sulfidit

Yleisin sulfidi tutkituissa näytteissä on pentlandiitti. Sitä esiintyy Tervasvaaran, Koskivaaran ja Näätävaaran näytteitä lukuun ottamatta kaikissa tutkituissa näytteissä. Useimmissa tutkituista hieistä pentlandiitti on vallitseva malmimineraali. Poikkeuksena tähän Suolamerellä magneettikiisua on kaikissa tutkituissa hieissä pentlandiittia enemmän. Pentlandiitin esiintymistapa on pirotteinen. Se esiintyy usein magneettikiisun tai muiden Ni-Fe-sulfidien kanssa yhteenkasvettuneena (Kuva 24A). Karhivaaran, Suolameren ja Jonkerin kohteissa se muodostaa myös monimutkaisempia yhteenkasvettumia magnetiitin ja magneettikiisun kanssa (Kuva 24B).



Kuva 24. A) Pentlandiitin (haalean keltainen) ja kuparikiisun (oranssi) yhteenkasvettuma (suurehko rae yläoikealla) ja pentlandiitin ja magneetikiisun (ruskea) yhteenkasvettuma (kaksi pientä raetta alavasemalla) Louhimon näytteessä TAH\$-2010-8. Kuvan läpimitta 0,6 mm. B) Monimutkainen pentlandiitin, magneetikiisun ja magnetiitin (harmaa) yhteenkasvettuma Jonkerin näytteessä R335/53,00. Kuvan läpimitta 0,3 mm.

Pentlandiitin määrä vaihtelee 5–40 % opaakeista mineraaleista (kuitenkin alle 1 % kokonaismineralogiasta). Pentlandiittikoostumukset analysoitiin elektronimikroanalysaattorilla 14 tutkimuskohteesta (ja Tainiovaarasta) (Kuva 25). Pentlandiittien kobolttipitoisuus vaihtelee 0,04 prosentista (Särkivaara) 8,58 prosenttiin (Jamali). Yli kolmen prosentin kobolttipitoisuuksia saatiin myös Teerisuon (5,58 % Co) ja Suolameren (5,48 % Co) kohteiden pentlandiiteista. Kaikkien analyysien mediaani Co-pitoisuus on 1,86 %. Likorinteen näytteessä TAH\$-2004-4 sinkki on hieman koholla (1,04 % Zn). Myös vähäistä kontaminaatiota kuparin (enimmillään 0,6 % Cu) ja vismutin (enimmillään 0,23 % Bi) suhteen havaittiin osassa näytteissä. Palladium analysoitiin kaikista tutkituista pentlandiiteista, mutta sen pitoisuudet eivät nousseet määrittäysrajan (464 ppm) yläpuolelle.

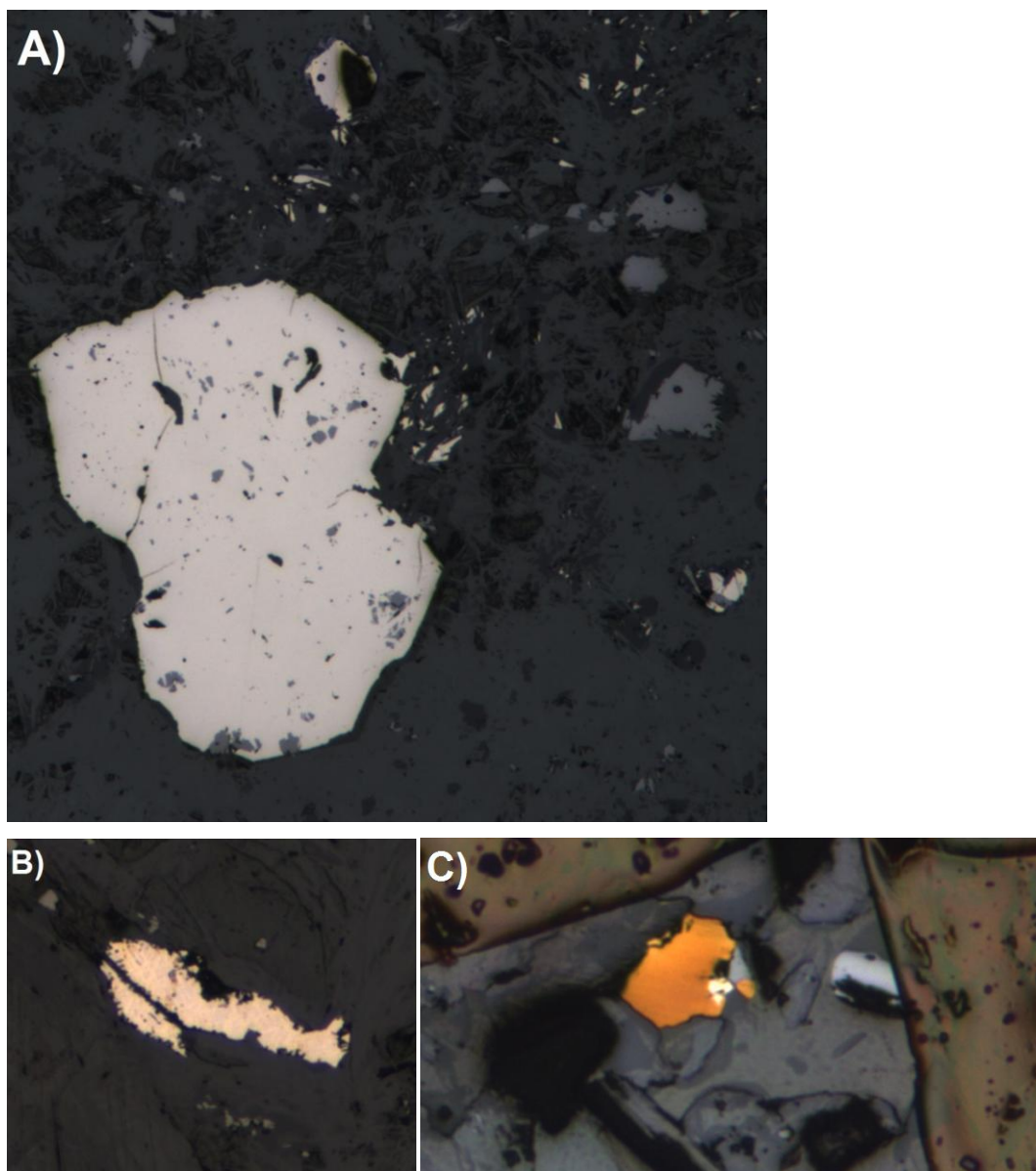


Kuva 25. Tutkittujen pentlandiittien Ni-, S-, Cu- ja Co-pitoisuudet.

Magneettikiisu on pentlandiitin jälkeen yleisin sulfidi tutkituissa näytteissä. Se havaittiin 13 tutkimuskohteesta. Se esiintyy pentlandiitin tavoin pirotteena. Magneettikiisun määrä vaihtelee 5–40 % opaakeista mineraaleista. Näytteissä, joissa magneettikiisu on läsnä, on aina myös pentlandiittia (yleensä siten, että  $pe > po$ ). Magneettikiisu on osassa näytteistä hyvin heikosti kontaminoitunut nikkelillä (enimmillään 0,36 % Ni) ja/tai vismutilla (enimmillään 0,18 % Bi).

Kuparikiisu esiintyy pentlandiitin ja magneettikiisun yhteydessä (Kuva 24A). Se havaittiin 11 tutkimuskohteesta. Analysoidut kuparikiisurakeet (6 kpl) ovat geokemialtaan lähes identtisiä ja enimmäkseen kontaminoitumattomia. Kuparikiisun pääalkuaineiden lisäksi ainoastaan vismutti nousee yli 0,1 % (Kiehu R329/56,05 0,21 % Bi ja Louhimo TAH\$-2010-8 0,12 % Bi).

Rikkikiisu havaittiin neljästä tutkimuskohteesta (Särkivaara, Koskivaara, Jamali ja Säkikikoski). Säkikikosken sulfidiseurue on pentlandiitti + magneetikiisu + rikkikiisu. Muiden rikkikiisupitoisten kohteiden sulfidiseurue eroaa selkeämmin yleisestä pentlandiittimagneetikiisu-kuparikiisuseurueesta. Särkivaaran sulfidiseurue on elektronimikroanalyysien perusteella pentlandiitti + rikkikiisu + violariitti ( $\text{Fe}^{2+}\text{Ni}_2\text{S}_4$ ) (Kuva 26A). Violariittia muodostuu pentlandiitin hapettuessa (Richardson ja Vaughan 1989). Pyriitti ja violariitti esiintyvät komatiittisissa nikkeliesiintymissä supergeenisinä muuttumistuloksina (Dowling ja Hill 1998). Violariitti esiintyy Särkivaarassa yhteenkasvettuneena pentlandiitin kanssa. Pyriitti esiintyy osittain omamuotoisina rakeina, joissa on kromipitoisia magneetikiisusulkeumia. Koskivaaran sulfidiseurue on rikkikiisu + milleriitti ( $\text{NiS}$ ) + siegeniitti/violariitti. Viimeksi mainitun mineraalin laskennallinen kaava on  $(\text{Co}_{0,60}\text{Ni}_{2,00}\text{Fe}_{0,35})\text{S}_4$ , mikä on siegeniitin ( $\text{Ni}_{2,25}\text{Co}_{0,75}\text{S}_4$ ) ja violariitin ( $\text{Fe}^{2+}\text{Ni}_2\text{S}_4$ ) koostumusten välissä. Milleriitti ja siegeniitti/violariitti esiintyvät yhteenkasvettuneena (Kuva 26B). Ne ovat korvanneet täysin pentlandiitin Koskivaaran näytteessä. Jamalin sulfidiseurue on pentlandiitti + kuparikiisu + rikkikiisu + sinkkivälke (Kuva 26C). Sulfidit esiintyvät toistensa kanssa yhteenkasvettuneina.



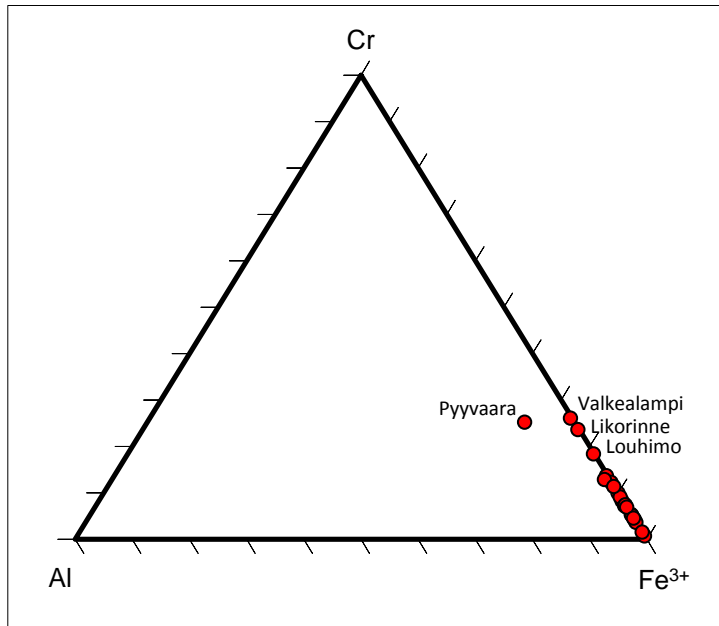
Kuva 26. A) Särkivaaran näytteen TAH\$-2004-136 kromipitoisia magnetiittisulkeumia sisältävä pyriittirae (iso vaalean harmaa rae) ja pentlandiitti-violariittiyhteenkasvettuma (edellisen yläpuolinen rae, violariitti on rakeessa rusehtava mineraali). Näkymän leveys 1 mm. B) Koskivaaran näytteen TAH\$-2002-38 hienopiirteinen milleriitti-siegeniitti-violariittiyhteenkasvettuma. Näkymän leveys 0,2 mm. C) Koskivaaran näytteen TAH\$-2002-38 komposiittikiisurae. Rakeen mineraalit ovat kuparikiisu (oranssi), pentlandiitti (haalean keltainen) ja sinkkivälke (harmaa). Näkymän leveys 0,5 mm.

Tainiovaaran näytteissä havaitut malmimineraalit ovat runsausjärjestyksessä pentlandiitti, magneettikiisu, Cr-pitoinen magnetiitti, kuparikiisu ja pyriitti. Sulfidimineraaleja on Tainiovaaran hieissä selkeästi enemmän kuin muissa tutkituissa hieissä. Cr-pitoista magnetiittia on sen sijaan vähemmän. Sulfidimineraaliseurue on pääosin sama kuin suurimmassa osassa tutkituista hieistä. Sulfidit esiintyvät muiden tutkittujen hieiden tavoin usein yhteenkasvettuneina.

### 6.5.2. Oksidit

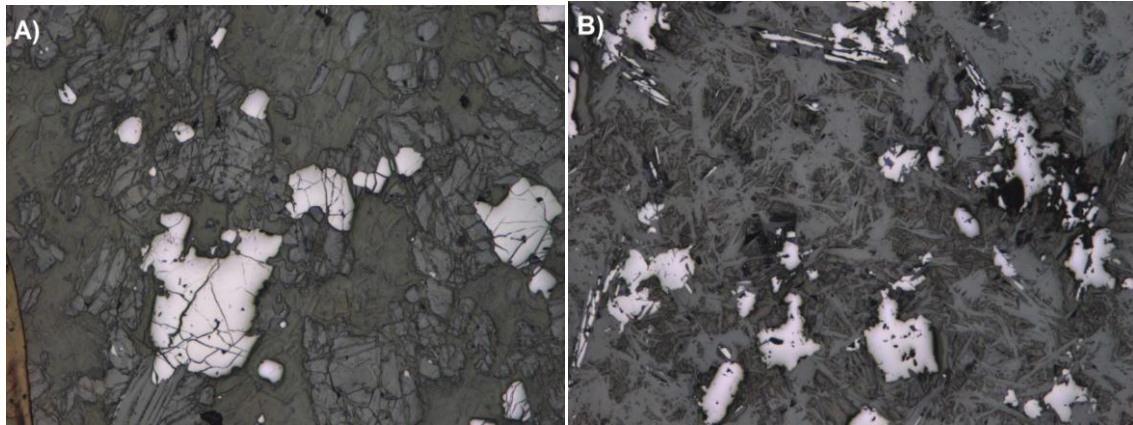
Yleisimmät opaakit oksidimineraalit tutkituissa näytteissä ovat magnetiitti ja ilmeniitti. Magnetiittia esiintyy ainakin kolmena geokemialtaan eroavana tyyppinä (Cr-magnetiitti, Ti-Cr-magnetiitti ja magnetiitti). Lisäksi rutiilia, pseudorutiilia ja götiittiä esiintyy kutsikin yhdessä näytteessä. Muuttumatonta kromiittia ei onnistuttu löytämään näytteistä.

Jokaisesta tutkimuskohteesta oli tarkoitus tutkia myös kromiittikoostumukset. Kromiittikoostumukset voivat toimia sulfidisaation indikaattorina (Barnes et al. 1996). Tutkitut mineraalit osoittautuivat elektronimikroanalyyssissä kuitenkin kromipitoisiksi magnetiiteiksi (Kuva 27). Tätä epäiltiin jo petrografisen tarkastelun yhteydessä, kun spinelleissä ei havaittu vyöhykkeellisyyttä. Mineraalit ovat alun perin olleet luultavasti kromiitteja, mutta ne ovat muuttuneet amfiboliittifasieksen oloissa Cr-magnetiiteiksi. Magnetiitit esiintyvät enimmäkseen omamuotoisina tai osittain omamuotoisina itsenäisinä rakeina (Kuva 28), mutta muutamassa kohteessa magnetiittia tavataan myös yhteenkasvettuneena sulfidien kanssa (Kuva 24B).



Kuva 27. Tutkittujen hieiden spinellien keskimääräiset kationijakaumat. Kromirikkaimmat kohteet on nimetty. Kuvaaja on tehty TRI-PLOTin versiolla 1.4.2.





Kuva 28. A) Tervasvaaran näytteen TAH\$-2004-45 kromipitoisia magnetiitteja. B) Särkivaaran kohteen TAH\$-2004-136 kromipitoisia magnetiitteja. Näkymien läpimitta 1,72 mm.

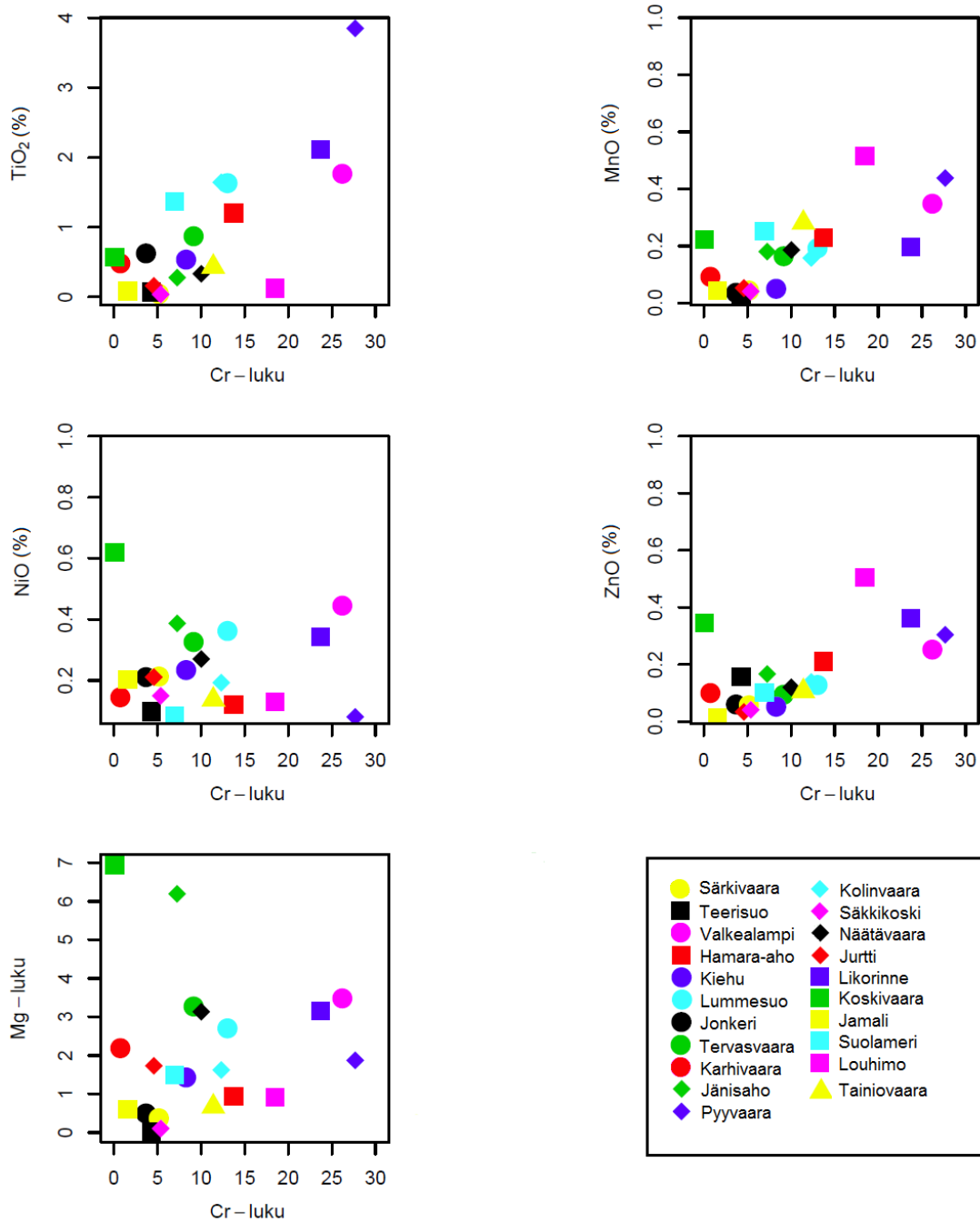
Tutkittujen hieiden keskimääräiset spinellikoostumukset on esitetty Taulukossa 5 ja Ku-  
vassa 29. Kaikki spinellianalyysit on listattu Liitteessä 5. Magnetiittirakeiden kromipi-  
toisuudet vaihtelevat välillä 0–17 %. Useimmissa tapauksissa spinellikoostumuksissa oli  
vain vähän hajontaa kunkin ohuthieen sisällä (CrO- ja FeO<sub>tot</sub>-pitoisuudet muutaman  
prosenttiyksikön sisällä). Näytteissä TAH\$-2006-219 (Hamara-aho), TAH\$-2002-38  
(Koskivaara) ja TAH\$-2010-8 (Louhimo) Cr-pitoisuus vaihtelee enemmän: 4,6–16,5 %  
(TAH\$-2006-219), 0,1–5,6 % (TAH\$-2002-38) ja 8,2–16,0 % (TAH\$-2010-8). Osassa  
kohteista valittu ohuthie vaikuttaa spinellien Cr-köyhyyteen. Esimerkiksi Jamalista va-  
littiin elektronimikroanalyysiin pyrokseenitremoliittikivi MgO-rikkaamman näytteen  
sijasta mielenkiintoisemman sulfidiseurueen vuoksi.

Taulukko 5. Tutkittujen hieiden spinellien keskimääräiset oksidi- ja kationikoostumukset (> 1 % pitoisuudet lihavoitu). FeO- ja Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-pitoisuudet on laskettu FeO<sub>tot</sub>:sta varaustasapainon perusteella. Mg-luku = 100 \* Mg / (Mg + Fe<sup>2+</sup>). Cr-luku = 100 \* Cr / (Cr + Mg<sup>3+</sup>).

	Särkivaara TAH\$- 2004-136	Teerisuo TAH\$- 2005-92	Valkealampi TAH\$- 2004-127	Hamara- aho TAH\$- 2006-219	Kiehu R329/56,05	Lummesuo R1/60,90	Jonkeri R335/53,00
<b>oksidit</b>							
SiO <sub>2</sub>	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,07	1,77	1,20	0,53	1,63	0,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,03	<0,03	0,12	0,08	0,08	0,40	<0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,38	2,79	16,36	8,54	5,33	8,15	2,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65,17	65,55	48,42	56,30	62,06	57,12	64,84
FeO	30,54	30,73	30,76	30,81	30,81	31,33	31,08
MnO	0,04	<0,03	0,35	0,23	0,05	0,19	0,04
MgO	0,06	<0,05	0,62	0,16	0,25	0,49	0,09
CaO	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Na <sub>2</sub> O	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
K <sub>2</sub> O	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NiO	0,21	0,10	0,45	0,12	0,23	0,36	0,21
ZnO	0,06	0,16	0,25	0,21	0,05	0,13	0,06
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
<b>Yhteensä</b>	99,53	99,42	99,13	97,69	99,41	99,82	99,33
<b>kationit</b>							
Si	-	-	-	-	-	-	-
Ti	0,00	0,00	0,05	0,04	0,02	0,05	0,02
Al	-	-	0,01	0,00	0,00	0,02	-
Cr	0,10	0,09	0,49	0,26	0,16	0,25	0,07
Fe <sup>3+</sup>	1,89	1,91	1,39	1,66	1,80	1,64	1,88
Fe <sup>2+</sup>	0,99	0,99	0,98	1,01	0,99	1,00	1,00
Mn	0,00	-	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Mg	0,00	-	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01
Ca	-	-	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Zn	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Nb	-	-	-	-	-	-	-
<b>kationit</b>	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
<b>happi yht.</b>	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
<b>Mg-luku</b>	0,37	0,03	3,48	0,94	1,43	2,70	0,49
<b>Cr-luku</b>	5,17	4,28	26,19	13,75	8,28	13,03	3,69

	Tervasvaara	Karhivaara	Jänisaho	Pyyvaara	Kolinvaara	Säkkikoski	Näätävaara
oksidit	TAH\$- 2004-45	TAH\$- 2004-67-2	TAH\$- 2005-133-2	TAH\$- 2006-248	TAH\$- 2006-129	TAH\$- 2006-178	TAH\$- 2001-47
SiO <sub>2</sub>	<0,03	0,15	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
TiO <sub>2</sub>	0,87	0,48	0,27	<b>3,85</b>	<b>1,64</b>	0,03	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	<0,03	0,11	<b>3,51</b>	0,04	<0,03	<0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>5,89</b>	0,48	<b>4,73</b>	<b>15,15</b>	<b>7,64</b>	<b>3,53</b>	<b>6,57</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>61,46</b>	<b>66,94</b>	<b>63,43</b>	<b>41,60</b>	<b>57,17</b>	<b>65,18</b>	<b>61,95</b>
FeO	<b>30,43</b>	<b>30,53</b>	<b>28,72</b>	<b>34,10</b>	<b>31,53</b>	<b>30,72</b>	<b>29,87</b>
MnO	0,16	0,09	0,18	0,44	0,16	0,04	0,19
MgO	0,58	0,38	1,06	0,36	0,29	<0,05	0,54
CaO	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Na <sub>2</sub> O	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
K <sub>2</sub> O	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NiO	0,33	0,15	0,39	0,08	0,19	0,15	0,27
ZnO	0,09	0,10	0,17	0,30	0,14	0,04	0,12
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
Yhteensä	99,85	99,32	99,08	99,43	98,83	99,75	99,88
<b>kationit</b>							
Si	-	0,01	-	-	-	-	-
Ti	0,03	0,01	0,01	0,11	0,05	0,00	0,01
Al	0,00	-	0,01	0,15	0,00	-	-
Cr	0,18	0,02	0,14	0,45	0,23	0,11	0,20
Fe <sup>3+</sup>	1,77	1,94	1,83	1,17	1,65	1,89	1,78
Fe <sup>2+</sup>	0,97	0,99	0,92	1,06	1,01	0,99	0,96
Mn	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Mg	0,03	0,02	0,06	0,02	0,02	-	0,03
Ca	-	-	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Zn	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Nb	-	-	-	-	-	-	-
kationit	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
happi yht.	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg-luku	3,27	2,19	6,20	1,87	1,62	0,10	3,13
Cr-luku	9,14	0,75	7,26	27,67	12,31	5,39	10,02

	Jurtti	Likorinne	Koskivaara	Jamali	Suolameri	Louhimo	Tainiovaara
oksidit	R301/60,75	TAH\$- 2004-4	TAH\$- 2002-38	R304/137,30	R1/163,50	TAH\$- 2010-8	R306/40,10
SiO <sub>2</sub>	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
TiO <sub>2</sub>	0,16	2,11	0,57	0,08	1,37	0,12	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,03	0,09	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,02	14,44	4,48	1,04	4,39	12,09	7,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65,91	48,81	63,21	67,71	61,82	56,18	60,55
FeO	30,49	30,94	30,31	30,59	31,41	29,84	30,78
MnO	0,05	0,20	0,22	0,04	0,25	0,52	0,28
MgO	0,30	0,56	<0,05	0,11	0,27	0,15	0,12
CaO	<0,02	<0,02	0,05	0,02	0,04	<0,02	<0,02
Na <sub>2</sub> O	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
K <sub>2</sub> O	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NiO	0,21	0,34	0,62	0,20	0,09	0,13	0,14
ZnO	<0,04	0,36	0,35	<0,04	0,10	0,50	0,11
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
Yhteensä	100,21	97,87	99,85	99,86	99,78	99,60	99,87
<b>kationit</b>							
Si	-	-	-	-	-	-	-
Ti	0,01	0,06	0,02	0,00	0,04	0,00	0,01
Al	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00
Cr	0,09	0,44	0,14	0,03	0,13	0,37	0,23
Fe <sup>3+</sup>	1,90	1,42	1,83	1,96	1,78	1,62	1,75
Fe <sup>2+</sup>	0,98	1,00	0,98	0,98	1,01	0,96	0,99
Mn	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01
Mg	0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
Ca	-	-	0,00	0,00	0,00	-	-
Na	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Zn	-	0,01	0,01	-	0,00	0,01	0,00
Nb	-	-	-	-	-	-	-
kationit yht.	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
happi yht.	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg-luku	1,73	3,15	0,10	0,61	1,50	0,91	0,67
Cr-luku	4,59	23,71	6,94	1,59	6,94	18,44	11,41



Kuva 29. Tutkimuskohteiden keskimääräiset magnetiittikoostumukset. Käytetyt ohuthieet kustakin kohteesta näkyy Taulukossa 5. Cr-luku =  $100 \cdot \text{Cr} / (\text{Cr} + \text{Fe}^{3+})$ . Mg-luku =  $100 \cdot \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ .

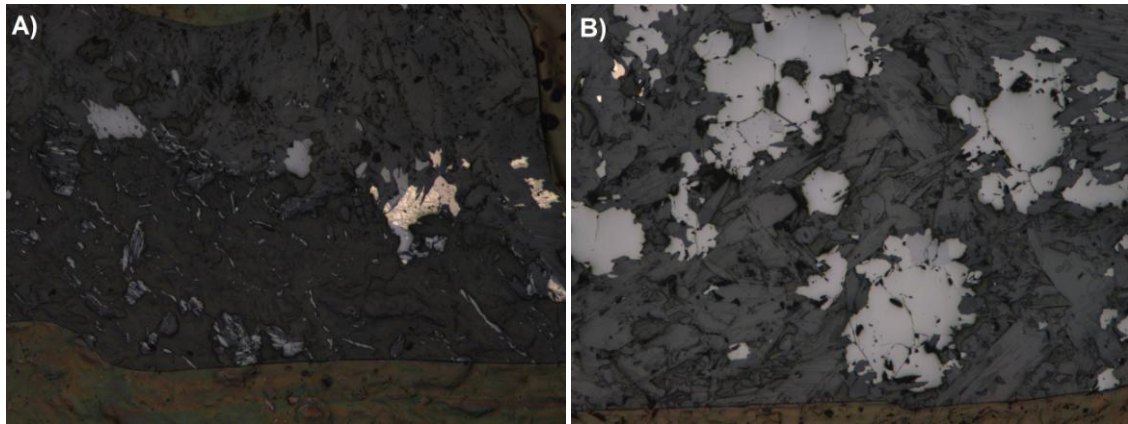
Barnesin et al. (1996) mukaan sulfidien läsnä- tai poissaolo ei vaikuta suoranaisesti magnetiittikoostumuksiin amfiboliittifasiuksen komatiiteissa. Magnetiittikoostumukset kertovat kuitenkin isäntäkiven MgO-pitoisuudesta ja kumulusoliviinin määrästä. Jänisaho erottuu muista tutkimuskohteista Cr-lukuun (7,3) nähden korkealla Mg-luvulla (6,2). Tämä viittaisi oliviinirikkaiden kivien läsnäoloon, mikä käy yksiin alueen tiiviistä serpentiniitistä mitatun korkean MgO-pitoisuuden (41,6 %) ja kentällä havainnoitujen

mahdollisten oliviiniporfyroblastien kanssa.

Tutkimuskohteiden spinellien  $\text{TiO}_2$ -,  $\text{MnO}$ - ja  $\text{ZnO}$ -koostumukset kasvavat Cr-luvun kasvaessa. NiO-pitoisuudessa ja Mg-luvussa ei ole havaittavissa selvää trendiä Cr-luvun kasvaessa. Kuhmo-Suomussalmi-vihreäkivivyöhykkeen kromittiytimisissä magnetiiteissa magnetiitin Cr-, Mg-, Mn-, Zn- ja Ti-pitoisuus kasvaa ja Ni-pitoisuus pienenee kohti kromiitin keskusta (Barnes et al. 1996). Korkea Cr-luku ja Ti-, Mn- ja Zn-pitoisuudet olisivat merkki vähemmän muuttuneista spinelleistä ja indikoisivat täten alhaisempaa metamorfoosiastetta. Korkeimman Cr-luvun omaavat tutkimuskohteet ovat Pyyvaara, Valkealampi, Likorinne ja Louhimo. Koskivaaran spinelleillä on Cr-lukuun verrattuna korkea NiO- ja ZnO-pitoisuus sekä Mg-luku. Tämä voi viitata erilaisiin metamorfoosioloihin muihin tutkimuskohteisiin verrattuna.

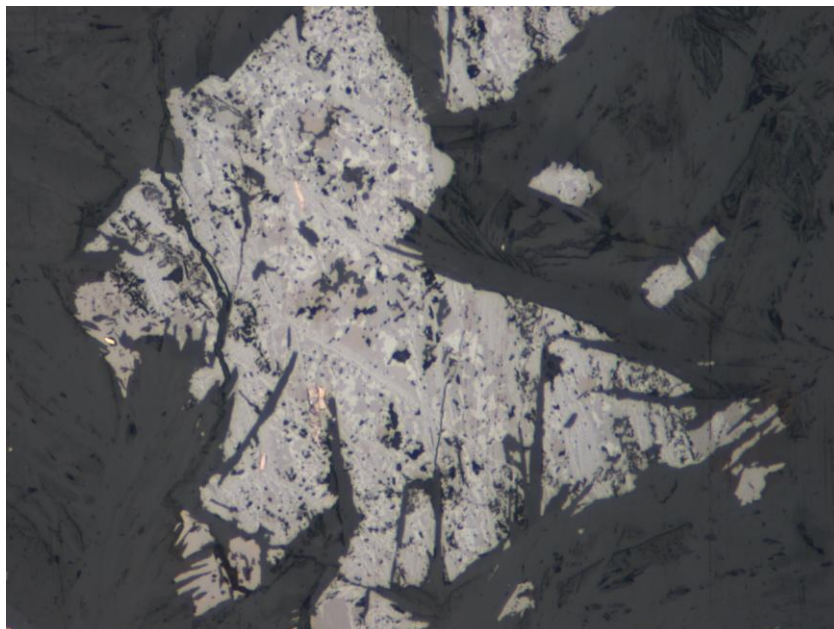
Tainiovaaran R306/40,10-näytteestä tutkittiin spinellikoostumukset. Kuten muissa tutkimuskohteissa myös Tainiovaarassa spinellit ovat muuttuneet kromirikkaiksi magnetiiteiksi. Tämä viittaa vähintään amfiboliittiasteen metamorfoosiin (Barnes et al. 2000). Tainiovaaran spinellit eivät eroa  $\text{TiO}_2$ -,  $\text{MnO}$ -, NiO- tai ZnO-pitoisuudeltaan tai Mg-luvultaan muiden kohteiden spinelleistä (Taulukko 5) (Kuva 29). Tämä varmentaa Barnesin et al. (1996) päätelmän, että magnetiittiutuneiden kromiittien pitoisuudet eivät suoraan indikoi systeemin sulfidipitoisuutta.

Ilmeniittiä esiintyi Tipasjärven vihreäkivivyöhykkeen läheisillä kohteilla (Pyyvaara, Ällävaara, Kolinvaara ja Säkikoski) sekä Teerisuon ja Kiehun kohteilla. Pyyvaaran, Ällävaaran, Kolinvaaran ja Teerisuon kohteilla ilmeniitti esiintyy itsenäisinä rakeina (Kuva 30A), kun taas Säkikosken ja Kiehun kohteilla ilmeniitti esiintyy anisotrooppisina granulaarisina suotaumina magnetiitissa (Kuva 30B). Ilmeniitit ovat  $\text{TiO}_2$ - ja  $\text{FeO}_{\text{tot}}$ -koostumuksiltaan melko homogeenisia, mutta MnO- ja MgO-pitoisuuksissa on enemmän eroa. MnO-pitoisuus vaihtelee välillä 0,69–5,35 %. MgO-pitoisuudet vaihtelevat välillä 0–2,77 %.



Kuva 30. A) Kolinvaaran näyte TAH\$-2006-129. Repalemaiset harmaat mineraalit vasemmalla ovat ilmeniittiä. Oikealla olevat haalean keltainen ja rusehtava mineraali ovat pentlandiitti ja magneettikiisu. B) Kiehun näyte R329/56,05. Tumman harmaa anisotrooppinen ilmeniitti esiintyy vaaleamman harmaissa kromipitoisissa magnetiiteissa granulaarisina suotaumina. Kuvassa tämä näkyy parhaiten alhaalla keskellä olevan rakeen yläosassa. Näkymien läpimitta 1,72 mm.

Spinellien ja ilmeniitin lisäksi muita havaittuja opaakkeja oksidimineraaleja olivat rutiili ( $\text{TiO}_2$ ), pseudorutiili ( $\text{Fe}_2^{3+}\text{Ti}_3\text{O}_9$ ) ja götiitti ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ). Pseudorutiilia muodostuu ilmeniitin menettäessä rautaa rapautumisessa (Grey ja Reid 1975). Jos rapautuminen etenee pidemmälle, muodostuu rutiilia. Rutiili, pseudorutiili, Ti-pitoinen magnetiitti esiintyvät Koskivaaran näytteessä yhteenkasvettuneina samassa rakeessa (Kuva 31). Rutiilin volatiilittomaksi laskettu koostumus on 93,8 %  $\text{TiO}_2$ , 5,4 %  $\text{FeO}$ , 0,4 %  $\text{V}_2\text{O}_3$  ja 0,2 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Pseudorutiilin volatiilittomaksi laskettu koostumus tutkitussa rakeessa on 58,7 %  $\text{TiO}_2$ , 40,5 %  $\text{FeO}$ , 0,3 %  $\text{V}_2\text{O}_3$  ja 0,3 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Götiittiä muodostuu rautapitoisten mineraalien rapautuessa (Hytönen 1999). Götiittiä esiintyy Karhivaaran näytteessä koostumuksella 70,7 %  $\text{FeO}$ , 13,2 %  $\text{SiO}_2$ , 0,4 %  $\text{NiO}$  ja 0,2 %  $\text{ZnO}$ .



Kuva 31. Vaalean harmaan Ti-pitoisen magnetiitin ja tummempien pseudorutiilin ja rutiilin yhteenkasvetty-  
ma. Kuvan läpimitta on 0,43 mm.

## 7. TULOSTEN TARKASTELU

### 7.1. Tainiovaaran esiintymän geokemian vertailu muihin tutkimuskohteisiin

Tainiovaaran kohde eroaa kemiallisesti Ni- ja Cu-pitoisuuksia lukuun ottamatta vain vähän muista tutkimuskohteista. Tainiovaaran esiintymän normalisoitu MgO-pitoisuus on 32,2–40,9 % (Makkonen ja Halkoaho 2007). Normalisoitu SiO<sub>2</sub>-pitoisuus on 37,3–48,8 %. Pitoisuudet ovat komatiittisia eivätkä eroa muista tutkimuskohteista. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-arvoissa on melko paljon vaihtelua eri näytteiden välillä (12,6–30,3), mutta niiden keskiarvo (22,9) on lähellä kondriittista. Näytteiden (Gd/Yb)<sub>N</sub>-arvot ovat alhaisia vaihdellen välillä 0,28–0,90. Tainiovaara edustaa siis samoin kuin valtaosa muista tutkimuskohteista Munro-tyypin komatiittia. Tainiovaaran mineralisoitunut luonne tulee selkeästi esiin alkuainesuhteilla, jotka ovat Tainiovaaran näytteillä korkeita (Ni/Cr 2,8–7,4, Cu/Zn 2,9–21,8 ja [(Ni/Cr) × (Cu/Zn)] 10,2–161,0). Jamali ja Suolameri ovat ainoat kohteet, joilta saatiin verrattavia arvoja.



Tainiovaaran PGE-kuvaaja on hieman nouseva (Makkonen ja Halkoaho 2007). Kaikkien platinaryhmän alkuaineiden pitoisuudet ovat muihin tutkimuskohteisiin verrattuna hieman koholla. Tainiovaaran näytteiden REE-kuvaajat ovat suhteellisen tasaisia. Ne vastaavat siis 6.3-kappaleen B-ryhmää. REE-pitoisuudet ovat lähellä kondriittista tasoa. Europium on kaikissa analyyseissä alle määritysrajan (alle 0,1 ppm), mutta koska REE-pitoisuudet ovat kautta linjan melko alhaisia, varsinaisia Eu-anomalioita ei muodostu.

## **7.2. Tutkimuskohteiden metamorfoosiasteesta ja muuttumisesta**

Spinellianalyysien perusteella tutkitut ultramafiset kivet ovat kaikki käyneet läpi vähintään keski-/korkean asteen amfiboliittifasieksen metamorfoosin (Barnes 2000). Tremoliitin sekä metamorfisen oliviinin esiintyminen viittaavat myös vähintään amfiboliittifasieksen metamorfoosiin (Hill et al. 1988). Retrograadinen metamorfoosi on saattanut tosin muuttaa joitain korkeassa metamorfisessa asteessa muodostuneita mineraaleja, kuten oliviinia, enstatiittia ja antofylliittia, takaisin serpentiiniksi ja talkiksi. Tutkittujen komatiittien voimakasta muuttumista on luultavasti edistänyt alueiden pieni koko ja erillisyys varsinaisista vihreäkivivyöhykkeistä. Vallitsevat muuttumisolmiöt tutkimuskohteissa ovat hydraatio ja karbonaattiutuminen. Näätävaarassa alkuperäinen kivilaji on muuttunut CO<sub>2</sub>-fluidien vaikutuksesta lähes kokonaan antofylliitiksi.

## **7.3. Suolameren kohteen geologinen luonne**

Suolameren kohde poikkeaa monin tavoin muista tutkimuskohteista. Muut tutkimuskohteet voidaan geokemian ja petrografian perusteella todeta komatiittisiksi, mutta Suola-meri poikkeaa komatiiteista geokemialtaan ja mineralogialtaan. Sen ei-komatiittista luonnetta puoltavat etenkin voimakas rikastuminen LREE:n suhteen ja rikastuminen Rh:n, Pt:n, Pd:n ja Cu:n suhteen. Muita muihin tutkimuskohteisiin verrattuna poikkeavia piirteitä ovat korkeat K<sub>2</sub>O- ja LILE-pitoisuudet R1-kairareissä, alhainen Ni-pitoisuus, klinopyrokseeni-amfibolivalentainen mineraaliseurue, flogopiitin läsnäolo yhdessä näytteessä, oliviinin korkea MnO-pitoisuus sekä magneettikiisuvaltainen sulfidiseurue.

Suolameren kohteelle ei löydy suoraa vertailukohtaa Itä-Suomen arkeeiselta alueelta. Suolameren kaakkoispuolella olevan Ilomantsin vihreäkivivyöhykkeen komatiiteista on saatu samantyyppisiä LREE-rikastuneita kuvaajia kuin Suolameren kivistä (Hölttä et al 2012). Syynä LREE-rikastumiseen pidetään felsisten vulkaniittien aiheuttamaa kontaminaatiota. LREE-rikastuminen ei ole tosin yhtä voimakasta kuin Suolamerellä. Keskimääräinen  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  on myös Ilomantsin vihreäkivivyöhykkeellä (17,4) selvästi lähempänä kondriittista (ja täten Munro-tyypin komatiittia) kuin Suolamerellä (11,8). Ilomantsin vihreäkivivyöhykkeen komatiitit eivät myöskään ole Ni:n suhteen köyhtyneitä tai  $\text{K}_2\text{O}$ :n suhteen rikastuneita kuten Suolameren kivet. Mineralogialtaan Suolameren kivet muistuttavat Jamalin kohteen klinopyrokseeni-amfibolikiviä, mutta geokemialtaan (REE,  $\text{K}_2\text{O}$ ) ne eroavat niistä selvästi. Suolamereltä ei ole löytynyt myöskään voimakkaasti serpentiiniytyneitä ja karbonaattiutuneita MgO-rikkaita kiviä kuten Jamaalista. Toinen vaihtoehto Suolameren geologiselle luonteelle on, että se ei olekaan luonteeltaan vulkaniitti vaan intruusio. Tämä voisi selittää sen muista tutkimuskohteista poikkeavan geokemian ja mineralogian.

Suolameren kohde sijaitsee keskellä laajaa (n.  $40 \times 50$  km) Koitereen sanukitoidi-intruusiota (Heilimo et al. 2012). Sanukitoidit ovat Mg:n, Ni:n ja Cr:n sekä LILE:n ja LREE:n suhteen rikastuneita arkeisia granitoideja. Koitereen sanukitoidi on  $\text{K}_2\text{O}$ - ja Ba-rikas verrattuna muihin Itä-Suomen sanukitoideihin. Kontaminoituminen sanukitoidisella aineksella voisi siis selittää LILE:n ja LREE:n suhteen rikastumisen, mutta Ni:n suhteen köyhtymistä se ei selittäisi. Todennäköisesti Suolameren ultramafisella kohteella on jonkunlainen suhde ympäröivään sanukitoidiin, mutta sen luonteen varmentaminen vaatisi Suolameren kivien ajoitusta. Zirkoniajoitusta tosin vaikeuttaisi alhainen zirkoniuempitoisuus (suurimmillaan 30 ppm).

#### **7.4. Tutkimuskohteiden malmipotentiali**

Mikään tutkimuskohteista ei osoita suoria viitteitä Ni-Cu-PGE-mineralisaatiosta. Moni kohde osoittaa kylläkin heikompia nikkelpotentiaalista kertovia signaaleja (Taulukko 6). Monen kohteen kohdalla paljastumahavaintojen pieni määrä ja kairausaineiston puuttuminen vaikuttaa tulosten heikkouteen. Esimerkiksi Näätävaaran, Koskivaaran, Valkealammen, Hamara-ahon ja Säkiköskien kohteet koostuvat vain yhdestä paljastu-

masta. Tuloksiin vaikuttaa myös tutkimuskohteiden ennakoitua korkeampi metamorfoosiaste ja voimakkaampi muuttuminen, joiden vuoksi elektronimikroanalyytit primäärisistä spinelleistä tai oliviineistä eivät olleet mahdollisia.

Taulukko 6. Ni-Cu-PGE-malmipotentialin indikaattorit tutkimuskohteissa sekä Tainiovaaran esiintymässä. Suluissa oleva rasti tarkoittaa heikkoa signaalia. Alkuainesuhteissa heikon signaalin raja on 1 ja voimakkaan signaalin 10. MgO-pitoisuudessa rajat ovat 40 % ja 35 %.

	MgO	Ni-Cr- kuvaaja	Ni/Cr	Cu/Zn	(Ni/Cr x Cu/Zn)	PGE-rikas- tuminen	Au	Eu- anomalia	spinellikoos- tumus
Särkivaara	(x)	x					(x)		
Teerisuo				(x)					
Valkealampi	x	x							
Hamara-aho				(x)		(x)			
Kiehu				(x)		(x)		x	
Lummesuo	(x)			(x)	(x)				
Jonkeri	x	x	(x)	(x)	(x)		(x)		
Tervasvaara	(x)							x	
Karhivaara		x	(x)	(x)	(x)				
Jänisaho	x	x	(x)					x	x
Pyyvaara				(x)	(x)	(x)			
Ällävaara									
Kolinvaaara	(x)		(x)	(x)		(x)		x	
Säkkikoski	(x)								
Näätävaara	x	x							
Jurtti	(x)			(x)	(x)			x	
Likorinne								x	
Koskivaara	(x)							x	
Jamali	x	x	x	x	x		x	x	
Suolameri				x	(x)	(x)		x	
Louhimo	(x)							x	
Tainiovaara	(x)	x	x	x	x	x			

Tutkimuskohteista kuutta (Kiehu, Lummesuo, Jonkeri, Jurtti, Jamali ja Suolameri) on kairattu. Suolameri erottuu muista kohteista korkealla Rh-,Pt-, Pd- ja Cu-pitoisuudella ja alhaisella nikkelpitoisuudella. Suolameren kohteen malmipotentialin arviointia hankaloittaa kohteen tuntematon alkuperä. Kairatuista kohteista Jonkeri ja Jamali osoittavat suurinta malmipotentialia. Sekä Jonkerissa että Jamalissa on tavattu yli 40 % MgO:a sisältäviä serpentiniittiytyneitä komatiittisia kiviä. Molemmista kohteista sijoittuu näytteitä Ni-Cr-kuvaajassa Ni-potentiaaliseen oliviinikumulaattikenttään (Kuva 10). Jonkerin kohteella Ni/Cr-, Cu/Zn- ja Kambalda-suhde ovat hieman koholla osassa näytteistä. Jamalin kohdalla malmipotentialia lisäävät lisäksi korkeat Ni/Cr-, Cu/Zn- ja Kambal-

da-suhteet (etenkin R304-kairasydämessä) sekä negatiiviset Eu-anomaliat REE-kuvaajissa. Nämä piirteet viittaavat sulfidisulan erkaantumisesta. Merkille pantavaa on, että R304-kairasydämen viimeinen (alin) analyysi sijoittuu Ni-Cr-kuvaajassa (Kuva 10) mahdollisesti Ni-sulfidia sisältävään oliviinikumulaattikenttään. Suurimmat alkuainesuhteet ovat peräisin R305-kairasydäimestä, joka ei leikkaa varsinaista serpentiniit-tikappaletta (Kuva 8). Serpentiinikappaletta leikkaavan R304:n analyysit antavat R305:ttä suurempia MgO-pitoisuuksia, mutta alkuainesuhteet ovat 159 m - 159,20 m – analyysiväliä lukuun ottamatta alhaisia. Toisin kuin R305, R304 ei lävistä koko ultramafista kappaletta vaan kairaaminen on lopetettu keskelle vuolukiveä. Mahdollisena jatkotoimenpiteenä Jamalin kohteelle voisi olla jatkaa R304 lävistämään koko ultramafisen kappaleen.

Ei-kairatuista kohteista Särkivaarasta, Valkealammelta, Karhivaarasta, Jänisahosta ja Näätävaarasta osuu näytteitä Ni-Cr-kuvaajassa Ni-potentiaaliseen oliviinikumulaattikenttään. Näistä lupaavimmat kohteet ovat Karhivaara ja Jänisaho. Karhivaaran näytteistä on saatu yhden ylittäviä arvoja sekä Ni/Cr-, Cu/Zn- että Kambalda-suhteelle. Jänisahon nikkelpotentiaalia nostavat Eu-anomalia PGE-kuvaajassa sekä yli yhden oleva Ni/Cr-suhde. Jänisahosta on tavattu lisäksi korkean MgO-pitoisuuden kiviä, jotka ovat edellytys mineralisaatiolle. Myös spinelleistä analysoitu korkea MgO-pitoisuus viittaa MgO-rikkaiden oliviinirikkaiden kivien läsnäoloon.

Ni-Cr-kuvaajassa etupäässä komatiittisen sulan kenttään osuvista kohteista Pyyvaara ja Kolinvaara ovat lupaavimmat. Sekä Pyyvaaran näyte TAH\$-2006-248 että Kolinvaaran näyte TAH\$-2006-129 ovat rikastuneet Pd-ryhmän alkuaineiden suhteen. Tosin koska näytteet eivät ole rikastuneet kaikkien PGE-alkuaineiden suhteen, on mahdollista, että Pd-ryhmänkään rikastuminen ei ole primääristä (Fiorentini 2010). Pyyvaarassa Cu/Zn- ja Kambalda-suhde antavat kohonneita arvoja. Kolinvaarassa Ni/Cr ja Cu/Zn antavat yli yhden olevia arvoja, mutta eri näytteissä, sillä suurin Kambalda-suhde kohteelta on vain 0,662.

## 8. YHTEENVETO

Lukuun ottamatta Suolameren kohdetta tähän tutkimukseen valitut Kuhmon, Nurmeksen, Lieksan, Sotkamon ja Valtimon kunnissa sijaitsevat ultramafiset alueet ovat geokemiansa ja mineralogiansa perusteella alkuperältään komatiittisia. Suolameren kohteen alkuperä on tämän tutkimuksenkin jälkeen epäselvä. Sen synty ja geokemiallinen luonne kytkeytyy luultavasti jollain tavalla Koitereen sanukitoidi-intruusioon. Valtaosa tutkituista komatiiteista on Munro-tyyppin alumiinista köyhtymättömiä komatiitteja. Jamali, Louhimo ja Näätävaara edustavat mahdollisesti alumiinista köyhtyneitä Barberton-tyyppin komatiitteja.

PGE-kuvaajissa ei ole merkkejä kaikkien platinaryhmän alkuaineiden rikastumisesta, joka indikoisi sulfidisulan erkaantumista. Pd-ryhmän alkuaineet ovat tosin muutamassa näytteessä koholla. Ohuthietutkimusten perusteella hydraatio ja karbonaattiutuminen ovat olleet merkittävimmät muuttumisilmiöt tutkituilla alueilla. Tyypillinen sulfidiseurie tutkituissa näytteissä on pentlandiitti + magneetikiisu + kuparikiisu. Kohteiden kromiitit ovat muuttuneet Cr-pitoisiksi magnetiiteiksi, mikä viittaa vähintään keskiasteen amfiboliittifasieksen metamorfoosiin. Geokemian perusteella suurimman nikkelimalmpotentiaalin kohteista omavat Jonkerin, Jamalin, Karhivaaran ja Jänisahon kohteet.

## 9. KIITOKSET

Kiitän Geologian tutkimuskeskusta minulle luovuttamasta geologisesta materiaalista (ohuthieet, kokokivi-, PGE- ja REE-analyysit ja kallioperähavainnot) sekä minulle tätä tutkimusta varten tilatuista PGE- ja REE-analyyseista.

Kiitän ohjaajiani FT Tapio Halkoahoa, professori Juha Karhua ja emeritusprofessori Ragnar Törnroosia. Mikroanalyysien käytännön toteuttamisesta ja analysoitavien hieiden esivalmistelussa neuvomisesta kiitän GTK:n tutkimuslaboratorion Bo Johansonin ja Lassi Pakkasta. Kiitän yliopisto-opettaja Kirsi Larjamoja opastuksesta ohuthietutkimuksissa ja yliopisto-opettaja Pasi Heikkilää opastuksesta ohuthieiden valokuvauksessa.

Haluan kiittää opiskelijatovereitani Helsingin yliopistolla sekä työkavereitani GTK:lla ja myöhemmin Dragon Miningilla kannustavasta asenteesta ja hyvistä neuvoista tämän työn valmistumisprosessin aikana. Lopuksi haluaisin kiittää perhettäni minulle koko opiskeluaikanani osoittamasta tuesta.

## 10. VIITELUETTELO

- Arndt, N.T., Leshner, C.M. ja Barnes, S.J. 2008. Komatiite. Cambridge University Press, Cambridge, 467 s.
- Arndt, N.T. ja Nisbet, E.G. 1982. What is a komatiite? Teoksessa: Arndt, N.T. ja Nisbet, E.G. (toim.) Komatiites. George Allen & Unwin, London, 526 s.
- Auvray, B., Blais, S., Jahn, B.-M. ja Piquet, D. 1982. Komatiites and komatiitic series of the Finnish greenstone belts. Teoksessa: Arndt, N.T. ja Nisbet, E.G. (toim.) Komatiites. George Allen & Unwin, London, 526 s.
- Barnes, S.J. 1998. Chromite in Komatiites, 1. Magmatic Controls on Crystallization and Composition. *Journal of Petrology* 39, 1689–1720.
- Barnes, S.J. 2000. Chromite in Komatiites, 2. Modification during Greenschist to Mid-Amphibolite Facies Metamorphism. *Journal of Petrology* 41, 387–409.
- Barnes, S., Halkoaho, T., Papunen, H. ja Perring, C. 1996. Chromite in Komatiites: A Comparative Study of Chromite in Komatiites from the Forrestania Greenstone Belt, Western Australia, and the Pulju and Kuhmo Greenstone Belts, Finland. CSIRO Australia exploration and mining report 273R, 72 s.
- Barnes, S.J. ja Hill, R.E. 1995. Poikilitic chromite in komatiitic cumulates. *Mineralogy and Petrology* 54, 85–92.
- Beswick, A.E. 1982. Some geochemical aspects of alteration and genetic relations in komatiitic suites. Teoksessa: Arndt, N.T. ja Nisbet, E.G. (toim.) Komatiites. George Allen & Unwin, London, 526 s.
- Brand, N.W. 1999. Element ratios in nickel sulphide exploration: vectoring towards ore environments. *Journal of Geochemical Exploration* 67, 145–165.
- Brooks, C. ja Hart, S.R. 1974. On the significance of komatiite. *Geology* 2, 107–110.
- Bucher, K. ja Frey, M. 2002. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer, Berlin, 341 s.
- Dowling, S.E. ja Holl, R.E. 1998. Komatiite-hosted nickel sulphide deposits, Australia. AGSO *Journal of Australian Geology & Geophysics* 17(4), 121–127.
- Echeverría, L.M. 1980. Tertiary or Mesozoic komatiites from Gorgona Island, Colombia; field relations and geochemistry. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 73, 253–266.
- Fiorentini, M.L., Barnes, S.J., Leshner, M., Heggie, G.J., Kayes, R.R. ja Burnham, M. 2010. Platinum group element geochemistry of mineralized and nonmineralized komatiites and basalts. *Economic Geology* 105, 795–823.
- Gibson, S.A. 2002. Major element heterogeneity in Archean to Recent mantle plume starting-heads. *Earth and Planetary Science Letters* 195, 59–74.
- Grey, I.E. ja Reid, A.F. 1975. The structure of pseudorutile and its role in the natural alteration of ilmenite. *American Mineralogist* 60, 898–906.
- GTK 2009. Kallioperäkarttatietokanta DigiKP Suomi, versio 1.0. Geologian tutkimuskeskus, Espoo.
- Halkoaho, T. ja Eilu, P. 2012. F032 KUHMO Ni, Ag, Ag. Teoksessa: Eilu, P. (toim.) Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special paper 53, 401 s.
- Halkoaho, T., Hartikainen, A., Isomaa, J., Kontoniemi, O., Makkonen, H., Niskanen, M., Pietikäinen, K., Tiainen, M. 2012. Väli- ja Etelä-Suomen nikkelpotentiaalin arviointihankkeen (2901006, 2551003 ja 2551012) toiminta vuosina 2007 - 2011. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti 18/2012, 84 s. ja 3 liitettä.
- Halkoaho, T. ja Niskanen, M. 2003. Tutkimustyöselostus Kuhmon kaupungissa valtausalueella Kiehu 1 (kaivosrekisterinumero 7466/4) suoritetuista nikkelimalmitutkimuksista vuosina 2001-2003. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/4324/2003/1/10, 7 s.
- Halkoaho, T. ja Niskanen, M. 2004. Tutkimustyöselostus Lieksan kaupungissa valtausalueella Jamali 1 (kaivosrekisterinumero 7626/1) suoritetuista nikkelimalmitutkimuksista vuosina 2002-2003. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/4314/2004/1/10, 12 s.
- Halkoaho, T. ja Niskanen, M. 2006. Ultramafisten ja mafisten kivien nikkelimalmipotentiali

- tutkimukset vuosina 2001 - 2005 Lieksan, Nurmeksen ja Kuhmon välisellä alueella. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/4324/2006/1, 43 s.
- Halkoaho, T. ja Papunen, H. 1998. Geology and mineral deposits of the Kiannanniemi area, Suomussalmi. Turku University, 20 s.
- Hanski, E., Huhma, H., Rastas, P. ja Kamenetsky, V.S. 2001. The palaeoproterozoic komatiite-picrite association of Finnish Lapland. *Journal of Petrology* 42, 855–876.
- Heilimo, E., Halla, J. ja Mikkola, P. 2012. Overview of Neoarchean Sanukitoid Series in the Karelia Province, Eastern Finland. Teoksessa: Hölttä, P. (toim.) *The Archaean of the Karelia Province in Finland*, Geological Survey of Finland Special Paper 54. Tammerprint Oy, Tampere, 254 s.
- Hill, R.E.T., Barnes, S.J., Gole, M.J. ja Dowling, S.E. 1988. Physical volcanology of komatiites. Excursion guidebook No. 1, Geological Society of Australia, 99 s.
- Hoffman, A.W. 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 90, 297–314.
- Hytönen, K. 1999. Suomen mineraalit. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, s. 399
- Hölttä, P. 2012. The Archaean of the Karelia Province in Finland. Geological Survey of Finland, Espoo, 254 s.
- Jahn, B.M., Gruau, G. ja Glickson, A.Y. 1982. Komatiites of the Onverwacht Group, South Africa: REE chemistry, Sm-Nd age and mantle evolution: Contributions to Mineralogy and Petrology 80, 25–40.
- Keays, R.R. 1995. The role of komatiite and picritic magmatism and S-saturation in the formation ore deposits. *Lithos* 34, 1–18.
- Kerr, A.C. ja Arndt, N.T. 2001. A note on the IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology* 42, 2169–2171.
- Le Bas, M.J. 2000. IUGS reclassification of the high-Mg picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology* 41, 1467–1470.
- Leshner, C.M. ja Barnes, S.J. 2008. Komatiite-associated Ni-Cu-PGE deposits. Teoksessa: Arndt, N.T., Leshner, C.M. ja Barnes, S.J. Komatiite. Cambridge University Press, Cambridge, 467 s.
- Leshner, C.M. ja Keays, R.R. 2002. Komatiite-associated Ni-Cu-PGE deposits: geology, mineralogy, geochemistry and genesis. Teoksessa: Cabri, L. J. (toim.). *The geology, geochemistry, mineralogy and mineral beneficiation of the platinum-group elements*. Canadian Institute Mineral Metallurgy Petroleum, Montreal, 852 s.
- Lodders, K. 1996. An experimental and theoretical study of rare-earth-element partitioning between sulfides (FeS, CaS) and silicate and applications to enstatite achondrites. *Meteoritics & Planetary Science* 31, 749–766.
- Loubet, M., Bernat, M., Javoy, M. ja Allegre, C.J. 1972. Rare earth contents in carbonatites. *Earth And Planetary Science Letters* 14, 226–232.
- Luukkonen, E. ja Sorjonen-Ward, P. 1998. Arkeinen kallioperä – ikkuna 3 miljardin vuoden taakse. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.). *Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa*. Suomen Geologinen Seura ry, Helsinki, 375 s.
- Makkonen, H. ja Halkoaho, T. 2007. Whole rock analytical data (XRF, REE, PGE) for several Svecofennian (1.9 Ga) and Archaean (2.8 Ga) nickel deposits in eastern Finland. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/3241/2007/32, 54 s.
- McDonough, W.F. ja Ireland, T.R. 1993. Intraplate origin of komatiites inferred from trace elements in glass inclusions. *Nature* 365, 432–434.
- McDonough W. F. and Sun S.- s. 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223–253.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburh, I.V., Seifert, F.A. ja Zussman, J. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52, 535–550.
- Nesbitt, R.W., Sun, S.-S. ja Purvis, A.C. 1979. Komatiites: geochemistry and genesis. *Canadian Mineralogist* 17, 165–186.
- Nisbet, E.G., Arndt, N.T., Bickle, M.J., Cameron, W.E., Chauvel, C., Cheadle, M., Hegner, E., Kyser, T.K., Martin, A., Renner, R. ja Roedder, E. 1987. Uniquely fresh 2.7 Ga komatiites from the Belingwe greenstone belt, Zimbabwe. *Geology* 15, 1147–1150.



- Nurmi, P.A. ja Sorjonen-Ward, P. (toim.) 1993. Geological development, gold mineralization and exploration methods in the late Archean Hattu schist belt, Ilomantsi, eastern Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 17, 1–386.
- Papunen, H. 1989. Platinum-group elements in metamorphosed Ni-Cu deposits in Finland. Teoksessa: Prendergast, M.D. ja Jones, M.J. (toim.) Magmatic sulphides – the Zimbabwe volume. The Institution of Mining and Metallurgy, 165–176
- Pekkarinen, L. 1980. Lieksan Tainiovaaran Ni-esiintymä. *Geologi* 32, 92.
- Pietikäinen, K., Halkoaho, T., Hartikainen, A., Niskanen, M. ja Tenhola, M. 2005. Itä-Suomen arkeiset alueet II-hankkeen (2105000) toiminta vuosina 2001 – 2004 Kuhmon, Nurmeksen, Lieksan ja Hyrynsalmen alueilla. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/4411/2005/1, 89 s.
- Pirajno, F. 2000. Ore Deposits and Mantle Plumes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 556 s.
- Puustinen, K., Saltikoff, B. ja Tontti, M. 1995. Distribution and metallogenic types of nickel deposits in Finland. Geological Survey of Finland, Report of investigations, 38 s.
- Rasilainen, K., Eilu, P., Äikäs, O., Halkoaho, T., Heino, T., Iljina, M., Juopperi, H., Kontinen, A., Kärkkäinen, N., Makkonen, H., Manninen, T., Pietikäinen, K., Räsänen, J., Tiainen, M., Tontti, M. & Törmänen, T. 2012. Quantitative mineral resource assessment of nickel, copper and cobalt in undiscovered Ni-Cu deposits in Finland. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 194, s. 514, 14 kuvaajaa, 10 taulukkoa, 6 liitettä.
- Richardson, S. ja Vaughan, D.J. 1989. Surface alteration of pentlandite and spectroscopic evidence for secondary violarite formation. *Mineralogical Magazine* 53, 213–222.
- Shimizu, K.T., Komiya, S., Maruyama, S. ja Hirose, K. 2001. Water content of melt inclusion in Cr-spinel of 2.7 Ga komatiite from Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe. *Earth and Planetary Science Letters* 78, 750.
- Sorjonen-Ward, P. ja Luukkonen, E.J. 2005. Archean rocks. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. Precambrian geology of Finland key to the evolution of the Fennoscandian shield. Elsevier B.V., Amsterdam, 736 s.
- Stone, W.R., Deloule, E. ja Stone, M.S. 2003. Hydromagmatic amphibole in komatiitic, tholeiitic and ferropicritic units, Abitibi greenstone belt, Ontario and Quebec: evidence for Archaean wet basic and ultramafic melt. *Mineralogy and Petrology* 77, 39–65.
- Streckeisen, A. 1973. Plutonic Rocks. Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommission on the Systematics of the Igneous Rocks. *Geotimes* 18, no. 10, 26–30.
- Sun, S.S. ja Nesbitt, R.W. 1978. Petrogenesis of Archaean ultrabasic and basic volcanics: evidence from rare earth elements. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 65, 301–325.
- Vaasjoki, M., Korsman, K. ja Koistinen T. 2005. Overview. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P.A. ja Rämö, O.T. (toim.) The Precambrian geology of Finland – key to the evolution of the Fennoscandian shield. Elsevier B.V., Amsterdam, 1–18.
- Vanne, J. 1981. Tutkimustyöselostus Lieksan kaupungissa valtausalueella Tainiovaara 1, kaiv. rek. n:o 2538/1 suoritetuista malmitutkimuksista. Geologinen tutkimuslaitos, arkistoraportti M06/4332/-81/1/10, 31 s.
- Viljoen, M.J. ja Viljoen, R.P. 1969a. The geology and geochemistry of the lower ultramafic unit of the Onverwacht Group and a proposed new class of igneous rock. Geological Society of South Africa Special Publication 2, 55–86.
- Viljoen, M.J. ja Viljoen, R.P. 1969b. Evidence for the existence of a mobile extrusive peridotite magma from the Komati Formation of the Onverwacht Group. Geological Society of South Africa Special Publication 2, 87–112.
- Woodall, R. ja Travis, G.A. 1969. The Kambalda Nickel Deposits, Western Australia. Proceedings of the 9th Commonwealth Mining and Metallurgy Congress 2, 517–533.

# Liite 1. Kokokivianalyysit

Kaikki pitoisuudet prosentteina.

	Särkivaa- ra	Särkivaa- ra	Särkivaa- ra	Teerisuo	Valkea- lampi	Hamara- aho	Kiehu	Kiehu	Kiehu	Kiehu	Lum- mesuo	Lum- mesuo
	TAH\$- 2004-134	TAH\$- 2004-136	TAH\$- 2004-137	TAH\$- 2005-92	TAH\$- 2004-127	TAH\$- 2006-219	M52/4324/ R329/56.0 5-56.30	M52/4324/ R330/21.8 0-22.05	M52/4324/ R330/49.0 0-49.25	M52/4324/ R330/62.2 0-62.45	Q534_201 0_R1 5.50- 5.85	Q534_201 0_R1 32.50- 32.90
Na2O	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	0,20	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,08
MgO	34,4	36,1	34,8	30,1	36,8	28,7	25,0	25,2	23,6	20,2	31,8	31,9
Al2O3	2,14	3,54	0,736	3,98	1,94	3,82	4,59	5,85	4,63	4,14	4,35	4,44
SiO2	48,3	42,1	48,4	45,1	36,5	48,2	46,5	44,0	46,0	48,6	40,9	40,6
P2O5	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,01375	0,028	0,018	0,01	0,033	<0,01375	0,019
K2O	<0,0036	<0,0036	<0,0036	0,005	<0,0036	0,353	0,005	0,025	0,011	0,613	0,012	0,006
CaO	1,43	1,27	2,73	3,22	1,36	5,59	4,12	4,81	6,25	8,97	3,67	3,09
TiO2	0,168	0,155	0,033	0,215	0,096	0,124	0,304	0,202	0,195	0,335	0,144	0,175
MnO	0,112	0,116	0,129	0,124	0,204	0,158	0,206	0,129	0,176	0,290	0,163	0,140
Fe2O3	7,00	12,1	8,23	9,89	13,0	8,66	13,9	10,7	12,0	10,9	11,3	11,5
S	0,0449	0,1073	0,0486	0,152	<0,006	0,237	0,111	0,081	0,211	0,234	0,026	0,042
Cl	<0,006	0,0115	0,006	0,007	0,0752	0,024	0,004	0,004	0,004	0,006	0,043	0,042
Sc	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0013	0,0018	0,0018	0,0019	<0,002	<0,002
V	0,0058	0,0087	0,0038	0,0093	0,0045	0,0088	0,0116	0,0092	0,0089	0,0100	0,007	0,007
Cr	0,311	0,5149	0,5009	0,2559	0,3377	0,3259	0,3299	0,2951	0,2704	0,2783	0,345	0,331
Ni	0,2384	0,1922	0,1276	0,1500	0,2391	0,1371	0,1443	0,1314	0,1484	0,1157	0,152	0,151
Cu	0,0048	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0092	0,0157	0,0077	0,0132	0,0089	<0,002	0,003
Zn	0,0095	0,0166	0,0117	0,0078	0,0088	0,0085	0,0113	0,0087	0,0095	0,0094	0,008	0,007
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0010	0,0008	0,0004	0,0014	<0,002	<0,002
As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0004	0,0001	0,0001	0,0003	<0,002	<0,002
Rb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0034	0,0001	0,0000	0,0003	0,0038	0,001	0,002
Sr	0,0017	0,0011	0,0011	0,0060	<0,001	0,001	0,0010	0,0022	0,0020	0,0010	<0,001	0,002
Y	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	0,0007	0,0004	0,0006		0,0009	<0,0007	<0,0007
Zr	<0,001	0,0015	<0,001	0,0011	<0,001	<0,001	0,0015	0,0008	0,0009	0,0017	0,001	0,002
Nb	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	0,0000	0,0000	0,0003	0,0003	<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	<0,001	<0,001
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	<0,01	<0,01
Ba	0,0022	0,0023	<0,002	0,0020	0,0022	0,0028	0,0015	0,0010	0,0018	0,0050	<0,002	<0,002
La	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0008	0,0006	0,0007	0,0000	<0,003	<0,003
Ce	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0010	0,0011	0,0014	0,0013	<0,003	<0,003
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0013	0,0015	0,0015	0,0011	<0,002	<0,002
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0005	0,0002	0,0002	0,0000	<0,003	<0,003
Th	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,002	0,001
U	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	<0,001	<0,001
C	0,51	0,61	0,55	0,09	0,19	0,01	0,06	0,37	0,32	0,02	0,20	0,30

	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Jonkeri	Jonkeri
	Q534_2010 _R1 60.90- 61.25	Q534_2010 _R1 92.50- 92.90	Q534_2010 _R1 92.50- 92.90	Q534_2010 _R1 112.40- 112.70	Q534_2010 _R1 122.10- 122.40	Q534_2010 _R2 56.80- 57.10	Q534_2010 _R2 78.70- 79.00	Q534_2010 _R3 74.30- 74.60	Q534_2010 _R3 110.20- 110.50	Q534_2010 _R3 140.80- 141.10	TAH\$- 2004-81	TAH\$- 2004-144
Na2O	0,23	0,20	0,20	0,18	0,24	0,09	0,10	<0,0337	0,06	0,05	<0,067	0,15
MgO	29,7	28,6	28,7	30,7	26,5	30,5	32,5	35,9	37,0	34,8	28,8	22,8
Al2O3	5,50	5,86	5,88	5,47	7,01	5,48	4,09	3,74	2,94	3,29	6,89	7,38
SiO2	41,7	41,5	41,5	41,6	45,5	41,8	40,7	41,4	40,1	42,8	46,7	46,6
P2O5	<0,01375	0,021	0,020	<0,01375	0,032	<0,01375	<0,01375	0,014	<0,01375	<0,01375	0,018	0,015
K2O	0,015	0,015	0,015	0,016	0,028	0,012	0,007	0,004	0,008	0,010	<0,0036	0,032
CaO	4,61	5,91	5,93	4,42	6,29	2,94	3,27	1,47	1,36	2,37	0,547	5,36
TiO2	0,198	0,215	0,215	0,236	0,247	0,175	0,154	0,125	0,118	0,095	0,262	0,356
MnO	0,157	0,146	0,145	0,147	0,134	0,172	0,179	0,140	0,188	0,152	0,189	0,186
Fe2O3	11,5	10,4	10,6	11,1	11,1	11,8	12,4	11,7	10,9	11,0	10,4	11,1
S	<0,006	0,014	0,014	0,019	0,009	0,062	0,032	0,021	0,022	0,024	0,0089	0,222
Cl	0,050	0,033	0,032	0,050	0,008	0,014	0,049	0,047	0,051	0,046	<0,006	0,008
Sc		0,002	<0,002		0,002	<0,002		<0,002		<0,002	<0,003	0,0032
V		0,009	0,010		0,012	0,008		0,007		0,005	0,007	0,0153
Cr	0,348	0,347	0,362	0,366	0,325	0,389	0,377	0,460	0,455	0,523	0,3302	0,2462
Ni	0,148	0,141	0,144	0,148	0,117	0,161	0,159	0,185	0,197	0,189	0,0791	0,0951
Cu	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0111
Zn	0,007	0,007	0,006	0,009	0,007	0,008	0,007	0,009	0,009	0,010	0,0111	0,0094
Ga	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,003	0,0513
Rb		0,001	0,001		<0,001	0,002		0,002		0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Y		0,001	0,001		0,001	0,001		<0,0007		<0,0007	<0,0007	<0,0007
Zr		0,002	0,002		0,001	0,002		<0,001		<0,001	0,0011	0,0019
Nb		<0,0007	<0,0007		<0,0007	<0,0007		<0,0007		<0,0007	<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	0,002	<0,002	<0,002	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0021	<0,002
La		<0,003	<0,003		<0,003	<0,003		<0,003		<0,003	<0,003	<0,003
Ce		<0,003	<0,003		<0,003	<0,003		<0,003		<0,003	<0,003	<0,003
Pb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,003	<0,003
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th		<0,001	0,001		0,001	0,002		0,001		<0,001	<0,001	<0,001
U		<0,001	<0,001		<0,001	<0,001		<0,001		<0,001	<0,001	<0,001
C	0,07	0,38	0,37	0,08	0,02	0,51	0,25	0,05	0,05	0,06	0,05	0,02

	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri
	TAHŞ- 2005-68-1	TAHŞ- 2005-68-2	4324/2004/ R332/63.05 -63.30	4324/2004/ R332/75.70 -75.95	4324/2004/ R332/80.55 -80.80	4324/2004/ R333/5.50- 5.90	4324/2004/ R333/11.20 -11.50	4324/2004/ R333/19.90 -20.15	4324/2004/ R333/23.60 -23.90	4324/2004/ R333/28.90 -29.10	4324/2004/ R333/34.10 -34.40	4324/2004/ R333/41.30 -41.60
Na2O	0,289	<0,067	0,49	0,63	1,14	0,26	<0,067	<0,067	0,11	0,13	0,16	0,08
MgO	21,4	26,8	20,5	19,3	15,9	23,3	30,9	37,5	26,2	26,2	23,9	24,2
Al2O3	6,09	10,3	6,03	6,39	9,26	7,05	3,77	2,51	5,28	4,64	6,21	6,48
SiO2	48,4	40,5	49,5	49,0	46,1	45,5	43,8	40,0	47,4	45,6	47,2	46,0
P2O5	0,021	0,036	0,029	0,031	0,019	0,015	0,016	<0,014	0,024	<0,014	0,032	0,073
K2O	0,051	0,021	0,157	0,226	0,117	0,041	0,018	0,006	0,032	0,033	0,035	0,031
CaO	7,53	4,01	5,00	6,29	8,99	8,27	4,07	1,36	5,15	6,70	5,68	6,77
TiO2	0,316	0,509	0,298	0,292	0,334	0,374	0,195	0,124	0,243	0,236	0,294	0,321
MnO	0,210	0,115	0,276	0,254	0,225	0,123	0,160	0,126	0,194	0,174	0,194	0,171
Fe2O3	11,0	10,9	12,6	12,7	13,3	10,2	9,56	8,18	10,4	9,85	10,7	10,9
S	0,007	0,130	<0,006	0,249	0,257	0,096	0,085	0,033	0,109	0,173	0,021	0,159
Cl	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,031	0,081	0,007	0,019	0,007	0,009
Sc	<0,003	0,0037	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
V	0,0125	0,0182	0,0115	0,0136	0,016	0,0172	0,0075	0,0049	0,0119	0,0091	0,0113	0,0135
Cr	0,2337	0,2259	0,2234	0,2314	0,2723	0,2485	0,1668	0,1695	0,2252	0,2076	0,2151	0,2557
Ni	0,0649	0,0423	0,1054	0,1039	0,0713	0,0923	0,1725	0,2219	0,1272	0,1442	0,1109	0,1214
Cu	<0,002	<0,002	<0,002	0,0122	0,0121	0,0076	0,0027	<0,002	0,0076	0,0063	<0,002	0,0058
Zn	0,0108	0,0100	0,0128	0,0106	0,0117	0,0072	0,0076	0,0057	0,0072	0,0067	0,0087	0,007
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Rb	<0,001	<0,001	0,0011	0,0015	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,0017	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0057	0,0038	0,0013	0,0046	0,0034	0,0024	0,0015
Y	0,0007	0,0007	<0,0007	0,001	<0,0007	0,0009	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Zr	0,0019	0,0025	0,0016	0,0012	0,0016	0,0023	0,0011	<0,001	0,0013	0,0016	0,001	0,0018
Nb	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	0,0020	0,0027	0,0034	0,0046	<0,002	0,0029	<0,002	<0,002	<0,002	0,0023	<0,002	0,002
La	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Ce	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
U	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02

	Jonkeri 4324/200 4/R334/3 9.85- 40.10	Jonkeri 4324/200 4/R334/4 5.00- 45.25	Jonkeri 4324/200 4/R334/5 4.50- 54.80	Jonkeri 4324/200 4/R334/6 5.60- 65.90	Jonkeri 4324/200 4/R334/7 5.10- 75.30	Jonkeri 4324/200 4/R334/8 9.80- 90.00	Jonkeri 4324/200 4/R335/1 7.10- 17.35	Jonkeri 4324/200 4/R335/3 6.85- 37.10	Jonkeri 4324/200 4/R335/5 3.00- 53.30	Jonkeri 4324/200 4/R335/8 1.80- 82.10	Jonkeri 4324/200 4/R335/9 9.50- 99.80	Jonkeri 4324/200 4/R335/1 17.20- 117.45
Na2O	0,65	0,22	<0,067	0,32	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067
MgO	17,4	21,5	25,8	20,1	36,4	33,5	33,1	37,0	31,1	35,9	37,8	36,4
Al2O3	5,59	3,14	2,25	3,10	1,99	2,13	1,82	1,50	3,86	2,33	2,11	2,48
SiO2	49,5	50,5	49,2	50,8	39,2	41,6	42,4	38,1	40,4	39,6	37,3	38,6
P2O5	<0,014	<0,014	<0,014	0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	0,016	<0,014	<0,014	<0,014
K2O	0,211	0,085	1,21	0,122	0,458	0,543	0,194	0,018	0,033	0,183	0,023	0,005
CaO	14,6	13,1	2,99	14,5	0,447	1,54	0,959	1,06	3,66	1,13	0,514	0,930
TiO2	0,295	0,242	0,136	0,278	0,142	0,121	0,105	0,074	0,241	0,144	0,161	0,138
MnO	0,188	0,219	0,231	0,170	0,198	0,237	0,206	0,123	0,185	0,169	0,178	0,152
Fe2O3	8,53	9,68	13,4	8,57	15,0	12,9	13,0	13,8	13,1	12,7	12,9	14,2
S	0,011	0,243	0,141	<0,006	0,028	0,025	0,110	0,140	0,086	0,090	0,194	0,058
Cl	0,013	<0,006	0,009	0,009	0,091	0,091	0,059	0,102	0,047	0,183	0,203	0,079
Sc	0,0049	0,004	<0,003	0,0051	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
V	0,0171	0,0148	0,0067	0,0179	0,0091	0,0078	0,003	0,0033	0,0094	0,0057	0,0049	0,0066
Cr	0,3121	0,3949	0,3074	0,3916	0,7641	0,7457	0,0836	0,084	0,0905	0,2184	0,1039	0,3647
Ni	0,0323	0,0635	0,1057	0,0422	0,1571	0,1277	0,1727	0,1711	0,1561	0,205	0,2922	0,1823
Cu	<0,002	0,0215	0,0095	<0,002	<0,002	<0,002	0,0027	0,0022	0,0025	0,002	0,0044	<0,002
Zn	0,0061	0,0074	0,0145	0,0054	0,0137	0,0104	0,0114	0,0111	0,0094	0,0099	0,0102	0,0098
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Rb	<0,001	<0,001	0,0083	<0,001	0,003	0,0035	0,0015	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
Sr	0,0057	0,004	0,0015	0,0038	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,001	<0,001	<0,001
Y	0,0007	<0,0007	<0,0007	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Zr	0,0012	<0,001	<0,001	0,0012	<0,001	0,0011	<0,001	<0,001	0,0014	<0,001	0,0011	<0,001
Nb	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	0,0056	0,0025	0,0054	0,0036	0,0031	0,0025	0,0078	<0,002	0,002	0,0029	0,002	<0,002
La	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Ce	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
U	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C	0,04	0,08	0,45	0,16	0,10	0,10	0,15	0,23	0,21	0,06	0,07	0,07

	Jonkeri 4324/200 4/R336/1 9.30- 19.55	Jonkeri 4324/200 4/R337/5 3.80- 54.00	Tervas- vaara TAH\$- 2004-45- 1	Tervas- vaara TAH\$- 2004-45- 2	Tervas- vaara TAH\$- 2004-46	Karhi- vaara TAH\$- 2004-64	Karhi- vaara TAH\$- 2004-67- 1	Karhi- vaara TAH\$- 2004-67- 2	Jänisaho TAH\$- 2005-129	Jänisaho TAH\$- 2005-132	Jänisaho TAH\$- 2005- 133-1	Jänisaho TAH\$- 2005- 133-2
Na2O	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	0,146	<0,067	<0,067	0,64	0,32	<0,067	<0,067
MgO	32,9	32,4	36,1	29,6	34,7	22,1	26,4	31,6	23,3	23,0	39,1	34,4
Al2O3	1,70	3,69	2,22	2,78	2,20	3,72	5,82	3,28	7,38	7,61	1,48	3,09
SiO2	41,7	41,1	40,3	51,9	42,3	50,8	47,0	44,0	43,2	44,4	38,2	41,8
P2O5	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	0,015	<0,014	<0,014	<0,014	0,016	0,023	<0,014	<0,014
K2O	0,285	0,020	0,009	0,004	<0,0036	0,032	0,019	0,007	0,104	0,085	0,006	0,005
CaO	0,802	3,62	1,82	1,37	1,43	8,38	6,90	3,01	7,82	9,23	1,79	2,32
TiO2	0,089	0,177	0,166	0,146	0,134	0,133	0,286	0,158	0,352	0,355	0,089	0,147
MnO	0,199	0,177	0,204	0,176	0,212	0,238	0,138	0,185	0,196	0,174	0,197	0,151
Fe2O3	15,5	11,7	15,0	12,9	14,4	9,71	10,4	11,4	11,4	10,3	12,4	12,5
S	0,226	0,064	0,0207	0,0472	0,041	0,2237	0,0246	0,1466	0,089	0,052	0,055	0,040
Cl	0,063	0,048	0,0801	<0,006	0,0513	<0,006	<0,006	0,0166	0,047	0,020	0,056	0,058
Sc	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0031	<0,003	<0,003
V	0,0044	0,007	0,0076	0,0079	0,0061	0,0077	0,0108	0,0048	0,0139	0,0138	0,0039	0,0073
Cr	0,1853	0,1524	0,4098	0,3376	0,3784	0,1514	0,2406	0,1584	0,2348	0,2584	0,1893	0,4016
Ni	0,1802	0,1603	0,1509	0,1157	0,169	0,1346	0,0766	0,1857	0,1083	0,1033	0,2112	0,1603
Cu	0,005	0,002	<0,002	0,0024	<0,002	0,0109	0,0029	0,0057	0,0039	0,0055	<0,002	<0,002
Zn	0,012	0,009	0,01	0,0115	0,008	0,0077	0,0081	0,0097	0,0079	0,0082	0,0105	0,0119
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Rb	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,0011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0014	0,0027	0,0012	0,0074	0,0038	<0,001	<0,001
Y	<0,0007	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	0,0007	<0,0007	<0,0007	0,0007	<0,0007	<0,0007
Zr	<0,001	0,001	0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,0013	0,001	0,0017	0,0019	<0,001	0,0013
Nb	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	0,0038	<0,002	0,0023	0,0024	<0,002	<0,002	0,0035	<0,002	0,0024	0,0020	<0,002	0,0020
La	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Ce	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
U	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C	0,07	0,06	0,06	0,13	0,04	0,03	0,02	0,02	0,07	0,19	0,09	0,05

	Pyyvaara	Pyyvaara	Pyyvaara	Pyyvaara	Ällävaara	Kolinvaara	Kolinvaara	Kolinvaara	Kolinvaara	Kolinvaara	Kolinvaara	Kolinvaara
	TAH\$-2006-245	TAH\$-2006-248	TAH\$-2006-250	TAH\$-2006-252	TAH\$-2005-141	TAH\$-2006-105	TAH\$-2006-106	TAH\$-2006-123-1	TAH\$-2006-125	TAH\$-2006-128	TAH\$-2006-129	TAH\$-2006-158
Na2O	0,48	0,71	0,93	0,22	0,80	<0,0674	<0,0674	0,48	<0,0674	0,13	<0,0674	<0,0674
MgO	25,1	22,7	23,1	25,4	24,4	28,4	28,0	20,5	37,4	21,8	30,9	28,3
Al2O3	6,19	8,47	7,94	8,62	7,61	6,60	4,15	8,04	3,71	7,59	7,23	5,76
SiO2	48,4	43,8	45,7	44,0	45,4	46,9	48,0	46,6	41,6	43,4	39,5	43,5
P2O5	0,015	0,026	0,018	0,019	0,017	<0,01375	<0,01375	0,023	<0,01375	0,022	<0,01375	0,041
K2O	0,058	0,066	0,092	0,035	0,112	0,016	0,018	0,080	0,005	0,055	0,015	0,009
CaO	6,14	7,88	8,14	5,06	5,72	2,08	5,52	9,49	0,160	9,01	3,37	3,58
TiO2	0,276	0,420	0,430	0,420	0,351	0,229	0,195	0,385	0,134	0,372	0,291	0,301
MnO	0,209	0,153	0,148	0,157	0,166	0,163	0,141	0,164	0,087	0,184	0,120	0,134
Fe2O3	10,4	12,1	10,5	10,4	11,0	10,4	8,67	10,4	11,5	11,1	11,9	10,6
S	0,133	0,189	0,037	0,198	0,045	0,028	0,102	<0,006	0,184	0,095	0,150	0,174
Cl	0,037	0,052	0,092	0,022	0,065	<0,006	0,007	<0,006	0,011	0,007	0,023	<0,006
Sc	<0,003	0,0032	0,0034	0,0031	<0,003	<0,003	<0,003	0,0032	<0,003	0,0032	<0,003	<0,003
V	0,0127	0,0179	0,0183	0,0168	0,0145	0,0139	0,0087	0,0155	0,0081	0,015	0,0223	0,0121
Cr	0,2082	0,2814	0,2282	0,2817	0,2647	0,5485	0,259	0,2557	0,4566	0,2481	0,4771	0,3188
Ni	0,1259	0,1104	0,1027	0,1892	0,1044	0,1803	0,1617	0,1059	0,2213	0,1047	0,1729	0,1563
Cu	0,0112	0,0301	0,0025	0,0186	0,0032	<0,002	0,0039	<0,002	0,0024	0,0044	0,0046	0,0047
Zn	0,0087	0,009	0,0065	0,0101	0,0090	0,0118	0,0074	0,0093	0,0124	0,0097	0,0096	0,0067
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Rb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,0024	0,004	0,0047	0,0022	0,0045	<0,001	0,0026	0,0013	<0,001	0,0027	0,0017	0,0018
Y	0,0007	0,0011	0,0012	0,001	0,0007	<0,0007	<0,0007	0,0008	<0,0007	0,0009	<0,0007	0,0007
Zr	0,0015	0,0023	0,0024	0,0022	0,0017	<0,001	0,0011	0,0021	<0,001	0,002	0,0013	0,0014
Nb	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,002	0,0029	0,0024	0,0023	0,0034	<0,002	<0,002	0,0025	<0,002	0,0026	0,0026	<0,002
La	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Ce	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
U	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C	0,02	0,05	0,02	0,08	0,01	0,02	0,33	0,02	0,06	0,32	0,07	0,89

	Säkki- koski	Näätä- vaara	Jurtti	Jurtti	Jurtti	Jurtti	Jurtti	Jurtti	Jurtti	Jurtti	Jurtti	Jurtti
	TAHŠ- 2006-178	TAH- 2001-47	4323/200 3/R301/5. 00-5.20	4323/200 3/R301/2 4.80- 25.05	4323/200 3/R301/4 4.90- 45.15	4323/200 3/R301/6 0.75- 61.00	4323/200 3/R301/6 3.20- 63.45	4323/200 3/R301/6 5.30- 65.55	4323/200 3/R302/3 0.80- 31.10	4323/200 3/R302/3 6.75- 37.00	4323/200 3/R302/4 3.15- 43.50	4323/200 3/R302/5 2.10- 52.45
Na2O	<0,0674	<0,0674	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	<0,067	0,213	<0,067	<0,067	<0,067	0,089
MgO	35,0	40,7	34,0	33,4	29,7	32,6	24,5	19,5	30,6	27,3	25,2	20,2
Al2O3	4,50	0,31	3,35	3,53	4,40	3,75	3,40	3,85	3,84	4,53	4,02	5,89
SiO2	39,0	39,8	42,1	43,5	45,9	43,8	50,7	51,2	45,1	47,8	49,1	47,0
P2O5	0,014	<0,01375	<0,014	0,014	0,023	0,024	0,028	<0,014	0,017	0,025	0,019	0,024
K2O	<0,0036	<0,0036	0,013	0,011	0,027	0,012	0,010	0,100	0,026	0,022	0,043	0,023
CaO	2,95	0,036	2,950	2,718	5,961	3,793	8,311	10,27	4,134	5,930	7,123	9,111
TiO2	0,159	0,046	0,214	0,233	0,353	0,267	0,199	0,162	0,261	0,287	0,258	0,367
MnO	0,145	0,155	0,178	0,179	0,134	0,122	0,164	0,181	0,159	0,188	0,215	0,219
Fe2O3	10,2	15,2	13,1	12,6	10,7	14,7	10,5	9,66	13,7	11,3	10,9	12,1
S	0,230	0,028	0,071	0,095	0,052	0,128	0,328	<0,006	0,070	0,433	0,279	0,761
Cl	<0,006	0,083	0,042	0,026	0,019	0,029	0,006	0,006	0,019	0,008	0,007	0,009
Sc	<0,003	0,0002!	<0,003	<0,003	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
V	0,0085	0,0032	0,008	0,009	0,011	0,010	0,009	0,007	0,011	0,010	0,009	0,014
Cr	0,4243	0,3181	0,328	0,314	0,319	0,383	0,248	0,266	0,314	0,265	0,256	0,140
Ni	0,2231	0,2448	0,130	0,143	0,086	0,129	0,104	0,089	0,091	0,164	0,094	0,077
Cu	0,0075	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	0,016	<0,002	0,004	0,015	0,008	0,024
Zn	0,0126	0,0106	0,010	0,011	0,009	0,013	0,010	0,011	0,010	0,009	0,009	0,011
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Rb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,0011	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	<0,001
Y	<0,0007	<0,0007	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Zr	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	<0,001	0,002	0,002	0,002	0,003
Nb	<0,0007	<0,0007	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,002	<0,002
La	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Ce	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
U	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
C	0,69	0,07	0,04	0,02	0,01	0,06	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,03



	Jurtti 4323/200 3/R304/2 9.50- 29.90	Likorin- ne TAH\$- 2004-2	Likorin- ne TAH\$- 2004-4	Koski- vaara TAH- 2002-38	Jamali M52/431 4/02/R30 2/161.60- 161.80	Jamali M52/431 4/R304/1 05- 105.20	Jamali M52/431 4/R304/1 15.60- 115.80	Jamali M52/431 4/R304/1 37.30- 137.50	Jamali M52/431 4/R304/1 55.90- 156.10	Jamali M52/431 4/R304/1 56.90- 157.05	Jamali M52/431 4/R304/1 59- 159.20	Jamali M52/431 4/R304/1 61- 161.20
Na2O	0,186	<0,067	<0,067	<0,067	0,05	0,48	0,41	0,15	0,10	0,00	0,00	0,00
MgO	21,1	28,6	31,7	32,0	22,1	14,8	16,7	19,9	19,3	32,7	25,0	35,2
Al2O3	5,88	4,40	3,21	1,06	1,13	4,89	3,80	1,73	1,28	0,99	3,52	0,69
SiO2	47,6	40,9	40,0	33,4	48,1	46,7	47,2	49,1	49,7	38,9	46,2	35,2
P2O5	0,038	<0,014	<0,014	<0,014	0,004	0,006	0,002	0,001	0,001	0,001	0,088	0
K2O	0,046	0,030	0,014	<0,0036	0,029	0,195	0,089	0,012	0,029	0,0001	0,092	0,00
CaO	9,357	4,16	2,73	8,02	13,7	16,1	16,0	15,4	18,5	3,85	5,68	1,40
TiO2	0,402	0,134	0,122	0,069	0,222	0,411	0,456	0,303	0,252	0,116	0,618	0,119
MnO	0,169	0,177	0,199	0,218	0,154	0,206	0,187	0,139	0,152	0,139	0,156	0,233
Fe2O3	11,5	12,2	12,1	9,49	9,74	9,44	11,6	9,88	6,93	15,7	17,3	17,4
S	0,248	0,0572	0,0734	0,013	0,034	0,069	0,038	0,025	0,021	0,089	0,534	0,081
Cl	0,009	0,0063	0,0535	0,007	0,005	0,008	0,0037	0,0034	0,0039	0,003	0,0051	0,008
Sc	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0052	0,0061	0,0070		0,0048	0,0005		0,0002
V	0,013	0,0094	0,0074	0,0029!	0,0120	0,0254	0,0279	0,0171	0,0107	0,0077	0,0170	0,0071
Cr	0,155	0,4985	0,4393	0,5088	0,2685	0,0601	0,1023	0,1322	0,5161	0,9124	0,1420	0,9025
Ni	0,069	0,182	0,1805	0,1833	0,0872	0,0542	0,0612	0,0662	0,0691	0,2132	0,1029	0,2352
Cu	0,004	<0,002	0,0026	0,0038	0,0078	0,0757	0,0333	0,0090	0,0084	0,0082	0,5195	0,0116
Zn	0,012	0,0107	0,0157	0,0260	0,0058	0,0074	0,0055	0,0045	0,0057	0,0127	0,0090	0,0117
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0005	0,0012	0,0008	0,0007	0,001	0,0008	0,0004	0,0002
As	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0001	0,0000	0,0005	0,0000	0,0001	0,0006	0,0004	0,0011
Rb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0010	0,0005	0,0008	0,0002	0,0000	0,0000	0,0008	0,0000
Sr	<0,001	0,0043	0,0015	0,0082	0,0029	0,0048	0,0032	0,0033	0,0043	0,0024	0,0007	0,0009
Y	<0,001	<0,0007	0,0008	<0,001	0,0000	0,0008	0,0007		0,0003	0,0003		0,0001
Zr	0,003	<0,001	0,0011	0,0013	0,0003	0,0011	0,0009	0,0004	0,0005	0,0000	0,0038	0,0000
Nb	<0,001	<0,0007	<0,0007	<0,0007	0,0000	0,0002	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0004	0,0000
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ba	<0,002	0,0021	0,0022	0,001!	0,0023	0,0026	0,0027	0,0014	0,0029	0,0013	0,0017	0,0013
La	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0011	0,0000	0,0000		0,0010	0,0009		0,0006
Ce	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0018	0,0004	0,0014		0,0005	0,0007		0,0013
Pb	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0018	0,0016	0,0011	0,0014	0,0012	0,0008	0,0010	0,0013
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	0,0007	0,0000	0,0004
Th	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0000	0,0004	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000
U	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0000	0,0002	0,0000		0,0000	0,0000		0,0000
C	<0,01	1,45	0,87	3,21	1,16	0,62	0,24	0,29	0,45	1,57	0,09	2,11

	Jamali M52/431 4/R304/1 70.10- 170.30	Jamali M52/431 4/R304/1 81.90- 182.10	Jamali M52/431 4/R304/1 90- 190.20	Jamali M52/431 4/R304/2 04.50- 204.70	Jamali M52/431 4/R304/2 16-05- 216.25	Jamali 4314/200 3/R305/1 71.30- 171.50	Jamali 4314/200 3/R305/1 80.05- 180.25	Jamali 4314/200 3/R305/1 89.05- 189.35	Jamali 4314/200 3/R305/1 90.55- 190.80	Jamali 4314/200 3/R305/1 99.85- 200.10	Jamali 4314/200 3/R305/2 20.40- 220.60	Jamali 4314/200 3/R305/2 42.80- 243.00
Na2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,71	0,82	0,39	0,00	0,21	0,21	0,16
MgO	35,9	35,7	35,8	29,6	23,7	5,71	13,9	17,4	23,7	16,3	15,8	18,7
Al2O3	0,55	0,18	0,31	0,26	0,30	14,6	5,51	3,15	0,66	1,61	1,66	1,48
SiO2	36,3	34,7	35,6	34,0	35,4	48,2	49,1	48,6	39,0	51,3	50,4	51,3
P2O5	0	0,004	0	0	0	0,169	0,004	0,007	0,002	0,000	0,000	0,001
K2O	0,00	0,00	0,001	0,018	0,093	0,852	0,248	0,150	0,217	0,051	0,067	0,035
CaO	0,963	1,91	1,32	7,90	15,7	9,33	16,1	13,2	15,8	18,2	19,0	17,0
TiO2	0,094	0,041	0,056	0,053	0,049	1,58	0,441	0,354	0,044	0,276	0,273	0,277
MnO	0,210	0,235	0,231	0,162	0,157	0,197	0,181	0,189	0,115	0,166	0,179	0,160
Fe2O3	15,0	12,4	15,2	13,5	11,1	14,0	9,82	11,7	14,0	8,07	7,69	8,75
S	0,053	0,055	0,046	0,045	0,062	0,088	0,004	0,274	0,320	0,072	0,003	0,095
Cl	0,0049	0,003	0,0046	0,0036	0,007	0,017	0,007	0,006	0,007	0,010	0,007	0,006
Sc		0,0003	0,0004	0,0011	0,0019	0,0037	0,0069	0,0051	0,0025	0,007	0,0075	0,0064
V	0,0053	0,0019	0,0021	0,0025	0,0017	0,0321	0,0286	0,0228	0,0049	0,0211	0,0204	0,0203
Cr	0,7345	0,0827	0,0780	0,0875	0,0695	0,0093	0,0644	0,0865	0,0074	0,0946	0,1181	0,0915
Ni	0,2505	0,2531	0,2549	0,2275	0,2117	0,0122	0,0469	0,0655	0,1745	0,0579	0,0511	0,0681
Cu	0,0060	0,0045	0,0052	0,0058	0,0074	0,0168	0,0063	0,1263	0,071	0,0844	0,0154	0,0865
Zn	0,0111	0,0059	0,0068	0,0056	0,0087	0,0118	0,0064	0,0068	0,0054	0,0061	0,007	0,0038
Ga	0,0006	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	0,0026	0,0011	0,0005	0,0005	0,0004	0,0006	0,0004
As	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0002	0	0	0,0003	0,0003	0	0	0
Rb	0,0004	0,0002	0,0003	0,0004	0,0006	0,0029	0,0007	0,0002	0,0015	0,0001	0,0005	0,0003
Sr	0,0002	0,0007	0,0010	0,0044	0,0083	0,0156	0,0082	0,0035	0,0087	0,0043	0,0049	0,0042
Y		0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0032	0,0013	0,0009	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005
Zr	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0139	0,0019	0,0009	0	0,0003	0,0001	0,0005
Nb	0,0003	0,0003	0,0000	0,0000	0,0003	0,0006	0,0003	0	0	0	0,0001	0,0002
Mo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0	0	0	0	0
Sn	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0	0	0	0	0
Sb	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0,0014	0,0015	0,0018	0,0020	0,0020	0,0201	0,0044	0,0027	0,0025	0,0033	0,003	0,0026
La		0,0001	0,0006	0,0012	0,0006	0,0005	0,0015	0,0012	0,0007	0,0003	0	0
Ce		0,0011	0,0000	0,0013	0,0001	0,0027	0,0019	0,0015	0,0015	0,0012	0,0015	0,001
Pb	0,0016	0,0013	0,0017	0,0014	0,0016	0,002	0,0014	0,0013	0,0015	0,0012	0,0015	0,0014
Bi	0,0000	0,0003	0,0002	0,0000	0,0000	0	0	0,0003	0,0006	0,0005		0
Th	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0	0,0001	0	0	0	0
U		0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0002	0	0	0	0	0
C	2,06	3,21	3,16	5,39	4,94	0,02	0,21	0,23	3,84	0,16	0,28	0,14

	Jamali 4314/200 3/R305/2 61.35- 261.50	Jamali 4314/200 3/R305/2 64.00- 264.15	Jamali 4314/200 3/R305/2 70.60- 270.75	Jamali 4314/200 3/R305/2 79.00- 279.20	Jamali 4314/200 3/R305/3 07.80- 308.00	Jamali 4314/200 3/R305/3 21.00- 321.15	Jamali 4314/200 3/R305/3 22.30- 322.50	Jamali 4314/200 3/R305/3 35.00- 335.20	Jamali 4314/200 3/R305/3 45.90- 346.10	Jamali 4314/200 3/R305/3 62.00- 362.20	Jamali 4314/200 3/R305/3 72.85- 373.05	Suola- meri  TAH\$- 2010-7
Na2O	0,00	0,09	0,00	0,26	0,25	0,22	0,00	0,33	0,27	0,44	0,62	0,44
MgO	29,3	21,1	29,2	17,0	16,9	19,7	28,8	16,0	18,5	17,5	14,7	21,4
Al2O3	0,35	1,2	0,98	1,68	1,64	1,77	0,75	1,97	1,78	2,36	6,07	4,87
SiO2	42,1	50,5	31,0	51,2	49,7	50	43,7	49,7	50,4	49,8	48,3	48,4
P2O5	0,001	0,003	0,000	0,004	0,006	0,009	0,003	0,014	0,003	0,018	0,096	0,057
K2O	0,00	0,046	0,00	0,036	0,026	0,038	0,021	0,104	0,069	0,068	0,375	1,25
CaO	7,40	13,9	9,50	18,6	18,2	15,3	7,40	18,3	16,4	16,2	11,4	12,0
TiO2	0,043	0,251	0,031	0,341	0,340	0,377	0,097	0,402	0,420	0,499	0,819	0,422
MnO	0,167	0,135	0,121	0,160	0,155	0,153	0,280	0,156	0,160	0,166	0,225	0,178
Fe2O3	15,4	11,0	18,9	7,74	8,80	9,88	14,5	8,33	9,56	9,95	13,6	10,5
S	0,189	0,115	0,211	0,005	0,073	0,022	0,222	0,002	0,050	0,007	0,070	0,088
Cl	0,005	0,004	0,007	0,022	0,005	0,005	0,028	0,007	0,006	0,005	0,006	0,006
Sc	0,0017	0,0061	0,0015	0,0064	0,0058	0,0053	0,0013	0,0063	0,0055	0,0059	0,0032	
V	0,0038	0,0189	0,0029	0,0198	0,0184	0,0164	0,004	0,0195	0,0171	0,0198	0,0179	
Cr	0,0066	0,0797	0,0085	0,1389	0,1328	0,1703	0,0263	0,1073	0,1835	0,1705	0,1314	0,173
Ni	0,1785	0,0895	0,1743	0,0526	0,0529	0,075	0,1888	0,051	0,0691	0,0626	0,061	0,033
Cu	0,0507	0,1065	0,0241	0,0254	0,0295	0,0133	0,018	0,0132	0,0121	0,0187	0,0154	0,004
Zn	0,0063	0,0041	0,0061	0,0053	0,0042	0,006	0,0078	0,0053	0,0046	0,0061	0,0131	0,008
Ga	0,0002	0,0008	0,0008	0,0004	0,0008	0,0009	0,0004	0,0009	0,0008	0,0009	0,0011	<0,002
As	0,0006	0	0,0007	0	0,0003	0	0,0003	0	0	0	0,0001	<0,002
Rb	0,0002	0,0003	0	0,0001	0,0004	0,0007	0,0005	0,0003	0,0004	0,0004	0,0006	
Sr	0,0017	0,0025	0,0037	0,0068	0,0074	0,0066	0,0056	0,0113	0,0086	0,0109	0,0022	0,011
Y	0,0002	0,0004	0,0006	0,0008	0,0003	0,0006	0	0,0007	0,0005	0,0008	0,0016	
Zr	0	0,0003	0	0,0008	0,0006	0,0012	0,0003	0,0014	0,0019	0,0019	0,0066	
Nb	0,0004	0	0	0,0001	0	0,0002	0,0004	0,0001	0,0002	0,0004	0,0002	
Mo	0,0001	0	0	0,0001	0,0001	0	0	0	0,0002	0	0	<0,001
Sn	0	0	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0,0003	0,003
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<0,01
Ba	0,0026	0,0023	0,0024	0,0032	0,0028	0,0018	0,0027	0,0038	0,002	0,0032	0,0032	0,049
La	0,0012	0,0014	0,0009	0,0004	0,002	0,0013	0,0008	0,0006	0,0003	0,0004	0,0006	
Ce	0,0013	0,0007	0,0006	0,0008	0,0008	0,0016	0,0014	0,0008	0,0024	0,0012	0,0028	
Pb	0,0009	0,0036	0,0012	0,0017	0,0008	0,0008	0,0011	0,0014	0,0015	0,0014	0,001	<0,002
Bi	0,0005	0,0003	0	0	0	0,0001	0,0001	0	0,0002	0,0001	0,0002	<0,003
Th	0	0,0003	0,0001	0	0	0	0	0	0,0001	0	0	
U	0	0	0,0002	0,0001	0	0	0	0,0001	0	0,0002	0,0003	
C	1,08	0,46	2,60	0,15	0,28	0,16	0,41	0,37	0,19	0,22	0,01	0,07

	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri	Suola- meri
	P543/201 1/R1/16.7 5-17.20	P543/201 1/R1/22.1 0-22.70	P543/201 1/R1/31.4 0-33.40	P543/201 1/R1/50.4 0-51.75	P543/201 1/R1/51.7 5-52.75	P543/201 1/R1/63.7 0-64.70	P543/201 1/R1/79.4 0-80.40	P543/201 1/R1/94.3 0-95.30	P543/201 1/R1/113. 20- 114.20	P543/201 1/R1/122. 50- 123.50	P543/201 1/R1/134. 70- 135.70	P543/201 1/R1/147. 70- 148.70
Na2O	0,77	0,57	0,59	0,49	0,50	0,34	0,44	0,39	0,34	0,20	0,18	0,09
MgO	16,1	19,7	21,1	21,0	23,2	21,3	21,2	20,6	22,0	22,4	23,5	25,2
Al2O3	5,62	5,20	4,44	2,85	2,96	3,20	3,24	3,48	2,84	2,94	2,12	1,52
SiO2	48,6	48,8	48,3	49,0	46,9	48,4	48,2	47,9	47,4	47,9	50,1	48,8
P2O5	0,058	0,090	0,053	0,041	0,048	0,044	0,033	0,027	0,021	0,028	0,027	<0,01375
K2O	1,01	1,95	1,08	1,01	0,469	0,497	0,720	1,01	0,165	0,211	0,053	0,025
CaO	14,0	10,9	11,8	12,9	12,8	13,4	14,1	13,9	14,5	12,3	11,3	10,8
TiO2	0,620	0,339	0,360	0,259	0,223	0,270	0,296	0,362	0,279	0,229	0,181	0,137
MnO	0,213	0,171	0,174	0,174	0,214	0,205	0,179	0,141	0,186	0,131	0,154	0,163
Fe2O3	9,94	10,4	11,0	10,4	11,1	10,9	10,2	9,41	10,1	11,5	11,3	10,7
S	0,008	0,094	0,174	0,245	0,117	0,287	0,226	0,336	0,225	0,960	0,305	0,143
Cl	0,016	0,014	0,020	0,031	0,025	0,016	0,012	0,013	0,010	<0,006	0,007	0,007
Sc	0,004	0,003		0,003	0,004		0,005		0,005		0,004	0,004
V	0,017	0,011		0,010	0,009		0,012		0,012		0,010	0,008
Cr	0,139	0,183	0,226	0,204	0,222	0,205	0,221	0,177	0,222	0,252	0,270	0,254
Ni	0,020	0,032	0,041	0,039	0,040	0,041	0,039	0,033	0,038	0,126	0,056	0,043
Cu	<0,002	0,004	0,010	0,018	0,008	0,017	0,017	0,025	0,017	0,082	0,020	0,008
Zn	0,013	0,009	0,008	0,008	0,007	0,008	0,008	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Rb	0,005	0,010		0,006	0,003		0,004		0,002		0,001	0,001
Sr	0,007	0,007	0,012	0,007	0,010	0,008	0,009	0,008	0,008	0,004	0,003	0,003
Y	0,002	0,001		0,002	0,001		0,001		<0,0007		<0,0007	0,001
Zr	0,003	0,003		0,001	0,002		0,002		0,001		<0,001	<0,001
Nb	<0,0007	<0,0007		<0,0007	<0,0007		<0,0007		<0,0007		<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	0,021	0,064	0,046	0,030	0,017	0,015	0,027	0,033	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
La	<0,003	<0,003		<0,003	<0,003		<0,003		<0,003		<0,003	<0,003
Ce	0,005	<0,003		0,003	<0,003		<0,003		<0,003		<0,003	<0,003
Pb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th	0,001	0,001		0,001	0,001		0,002		0,002		0,002	0,001
U	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001	<0,001
C	0,08	0,09	0,09	0,09	0,07	0,11	0,07	0,24	0,09	0,08	0,08	0,31

	Suola- meri P543/201 1/R1/163. 50- 164.50	Suola- meri P543/201 1/R1/180. 90- 181.90	Suola- meri P543/201 1/R2/13.4 0-14.40	Suola- meri P543/201 1/R2/35.4 0-36.40	Suola- meri P543/201 1/R2/49.4 0-50.40	Suola- meri P543/201 1/R2/49.4 0-50.40	Suola- meri P543/201 1/R2/73.4 0-74.40	Suola- meri P543/201 1/R2/95.4 0-96.40	Suola- meri P543/201 1/R2/114. 40- 115.40	Louhimo TAH\$- 2010-8-1	Louhimo TAH\$- 2010-8-2	Louhimo TAH\$- 2010-9
Na2O	0,18	0,13	0,37	0,25	0,28	0,29	0,17	0,17	0,31	<0,0337	0,42	<0,0337
MgO	25,4	26,3	23,3	23,2	23,2	23,2	25,5	24,8	23,2	35,6	18,3	28,9
Al2O3	1,58	1,34	3,58	2,77	2,56	2,53	1,51	1,34	1,58	1,27	2,50	1,42
SiO2	45,3	46,0	48,4	48,1	49,9	50,0	47,1	46,3	47,2	39,1	53,2	45,5
P2O5	0,018	<0,01375	0,055	0,028	0,033	0,034	0,014	<0,01375	0,015	0,014	0,030	0,024
K2O	0,032	0,025	0,103	0,610	0,100	0,102	0,051	0,027	0,188	0,005	0,19	<0,00361 4
CaO	12,5	11,8	12,7	11,9	11,7	11,8	11,5	14,0	14,8	3,60	12,2	9,55
TiO2	0,139	0,119	0,257	0,208	0,201	0,206	0,135	0,131	0,139	0,163	0,385	0,253
MnO	0,192	0,210	0,174	0,223	0,153	0,154	0,198	0,211	0,181	0,192	0,224	0,168
Fe2O3	10,3	10,8	10,2	11,0	11,0	11,1	10,6	10,3	9,67	11,3	9,59	8,98
S	0,049	0,027	0,079	0,205	0,184	0,183	0,066	0,043	0,018	0,234	0,008	0,124
Cl	0,044	0,022	0,007	0,011	<0,006	<0,006	0,018	0,027	0,065	0,006	<0,006	<0,006
Sc		0,004	0,004	0,004			0,003	0,005		<0,002	0,003	<0,002
V		0,008	0,010	0,010			0,008	0,008		0,004	0,010	0,004
Cr	0,234	0,256	0,214	0,242	0,231	0,232	0,255	0,234	0,217	0,406	0,164	0,301
Ni	0,040	0,043	0,036	0,040	0,043	0,041	0,044	0,039	0,033	0,210	0,047	0,156
Cu	0,003	<0,002	0,005	0,015	0,015	0,014	0,003	<0,002	<0,002	0,011	0,003	0,006
Zn	0,007	0,008	0,006	0,009	0,006	0,007	0,010	0,009	0,006	0,013	0,015	0,011
Ga	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Rb		0,001	0,001	0,004			0,001	0,001		0,001	<0,001	0,001
Sr	0,006	0,004	0,008	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,007	0,002	0,001	0,007
Y		<0,0007	<0,0007	0,001			<0,0007	<0,0007		<0,0007	0,001	<0,0007
Zr		<0,001	0,001	<0,001			<0,001	<0,001		0,001	0,003	0,004
Nb		<0,0007	<0,0007	<0,0007			<0,0007	<0,0007		<0,0007	<0,0007	<0,0007
Mo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sn	0,002	0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	0,003	<0,002
Sb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ba	<0,003	<0,003	<0,003	0,015	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,010	<0,002	0,003	<0,002
La		<0,003	<0,003	<0,003			<0,003	<0,003		<0,003	<0,003	<0,003
Ce		<0,003	0,004	<0,003			<0,003	<0,003		<0,003	<0,003	<0,003
Pb	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Bi	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Th		0,001	0,001	<0,001			0,002	<0,001		0,001	0,001	0,001
U		<0,001	<0,001	<0,001			<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001
C	0,23	0,14	0,13	0,10	0,03	0,04	0,11	0,10	0,05	2,00	0,03	3,36

## Liite 2. PGE-analyysit

Pitoisuudet yksikössä µg/kg.

	Lummesuo Q534_2010_R 1 60.90-61.25	Lummesuo Q534_2010_R 1 112.40- 112.70	Lummesuo Q534_2010_R 2 78.70-79.00	Lummesuo Q534_2010_R 3 110.20- 110.50	Jonkeri 4324/2004/R3 33/11.20- 11.50	Jonkeri 4324/2004/R3 35/17.10- 17.35	Jonkeri 4324/2004/R3 35/17.10- 17.35
<b>Au</b>	0,148	0,148	0,159	0,197	0,1725	0,1727	0,1727
<b>Ir</b>	1,18	<1	<1	1,17	3,59	1,13	<1
<b>Os</b>	1,28	1,10	1,13	1,31	2,02	0,30	0,31
<b>Pd</b>	7,61	6,17	7,34	6,82	3,12	2,25	2,38
<b>Pt</b>	1,18	1,22	1,61	<1	<1	<1	<1
<b>Rh</b>	5,26	5,94	4,55	3,35	5,14	3,61	0,98
<b>Ru</b>	3,12	7,58	4,70	3,64	3,26	<1	<1

	Jonkeri 4324/2004/R3 35/53.00- 53.30	Jonkeri 4324/2004/R3 35/99.50- 99.80	Tervasvaara TAH\$-2004- 45-1	Tervasvaara TAH\$-2004- 46	Karhivaara TAH\$-2004- 67-2	Jänisaho TAH\$-2005- 133-2	Pyyvaara TAH\$-2006- 248
<b>Au</b>	0,1561	0,2922	0,1509	0,169	0,1857	0,1603	0,1104
<b>Ir</b>	<1	2,40	1,49	1,74	2,95	1,89	1,45
<b>Os</b>	0,58	2,95	0,89	1,38	1,61	1,36	1,04
<b>Pd</b>	2,52	4,91	3,84	5,30	2,97	4,41	4,59
<b>Pt</b>	<1	<1	<1	<1	<1	1,30	2,20
<b>Rh</b>	0,90	3,83	2,88	5,95	2,17	3,08	12,8
<b>Ru</b>	6,02	2,65	3,16	13,4	3,02	<1	13,7

	Pyyvaara TAH\$-2006- 250	Ällävaara TAH\$-2005- 141	Kolinvaara TAH\$-2006- 125	Kolinvaara TAH\$-2006- 129	Säkkikoski TAH\$-2006- 178	Näätävaara TAH\$-2001- 47.1	Näätävaara TAH\$-2001- 47.1
<b>Au</b>	0,1027	0,1044	0,2213	0,1729	0,2231	0,2448	0,2448
<b>Ir</b>	1,16	1,41	1,26	2,59	3,29	5,07	4,29
<b>Os</b>	1,06	1,34	1,48	2,01	2,06	2,50	2,55
<b>Pd</b>	3,78	4,29	6,63	7,26	5,94	9,50	9,83
<b>Pt</b>	<1	1,27	<1	1,40	<1	<1	<1
<b>Rh</b>	10,8	16,8	9,50	11,9	6,62	9,59	6,92
<b>Ru</b>	7,54	12,8	8,84	10,8	2,43	1,73	1,68

	Jurtti M52/4323/03/ R301/44.90- 45.15	Likorinne TAH\$-2004-4	Koskivaara TAH-2002-38	Jamali M52/4314/02/ R304/159.00- 159.20	Jamali M52/4314/02/ R304/170.10- 170.30	Suolameri Q534_2010_ R1 60.90- 61.25	Suolameri Q534_2010_ R1 60.90- 61.25
<b>Au</b>	0,086	0,1805	0,0082	0,1029	0,2505	0,148	0,148
<b>Ir</b>	1,54	1,46	3,16	<1	1,83	1,12	1,18
<b>Os</b>	1,38	1,12	3,59	0,24	0,79	1,23	1,28
<b>Pd</b>	4,01	7,80	7,56	<2	4,80	7,23	7,61
<b>Pt</b>	1,88	<1	1,20	20,7	<1	1,17	1,18
<b>Rh</b>	9,38	4,89	1,68	3,20	5,24	7,39	5,26
<b>Ru</b>	6,54	8,04	1,07	1,91	3,10	2,96	3,12

	Suolameri Q534_2010_ R1 112.40- 112.70	Suolameri Q534_2010_ R2 78.70- 79.00	Suolameri Q534_2010_R3 110.20-110.50	Suolameri TAH\$-2010-7	Louhimo TAH\$-2010- 8.1
<b>Au</b>	0,148	0,159	0,197	0,033	0,210
<b>Ir</b>	<1	<1	1,17	<1	1,20
<b>Os</b>	1,10	1,13	1,31	0,11	0,65
<b>Pd</b>	6,17	7,34	6,82	<2	4,66
<b>Pt</b>	1,22	1,61	<1	<1	<1
<b>Rh</b>	5,94	4,55	3,35	1,75	0,81
<b>Ru</b>	7,58	4,70	3,64	1,19	<1

### Liite 3. REE-analyysit

Pitoisuudet yksikössä mg/kg.

	Särki- vaara	Teerisuo	Valkea- lampi	Hamara- aho	Kiehu	Kiehu	Lum- mesuo	Lum- mesuo	Lum- mesuo
	TAH\$-2004- 136	TAH\$-2005- 92	TAH\$-2004- 127	TAH\$-2006- 219	M52/4324/02/ R329/56.05- 56.30	M52/4324/02/ R330/49.00- 49.25	Q534_2010_ R1 60.90- 61.25	Q534_2010_ R1 112.40- 112.70	Q534_2010_ R2 78.70- 79.00
La	0,24	0,67	0,43	0,88	0,40	0,92	3,50	3,21	7,05
Ce	0,79	1,76	1,22	2,54	1,36	2,26	2,64	2,37	5,29
Pr	0,11	0,24	0,16	0,36	0,20	0,29	2,69	2,48	4,63
Nd	0,52	1,12	0,76	1,82	1,14	1,43	2,87	2,74	3,96
Sm	<0.2	0,36	0,21	0,54	0,44	0,43	3,11	3,18	3,18
Eu	<0.1	0,14	<0.1	0,15	<0.1	0,13	3,37	2,66	1,95
Gd	0,25	0,50	0,31	0,71	0,64	0,63	3,67	3,92	3,12
Tb	<0,1	<0,1	<0,1	0,14	0,11	0,10	3,60	3,88	3,05
Dy	0,30	0,61	0,32	0,88	0,74	0,73	3,90	4,19	3,01
Ho	<0,1	0,13	<0,1	0,20	0,16	0,15	3,85	4,03	2,93
Er	0,19	0,40	0,20	0,58	0,45	0,44	3,81	4,31	3,06
Tm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,83	4,05	3,12
Yb	0,25	0,40	0,20	0,62	0,45	0,42	3,85	4,10	3,17
Lu	<0,1	<0,1	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	<0,1	4,07	<0,1

	Lum- mesuo	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Jonkeri	Tervas- vaara	Tervas- vaara	Karhivaa- ra
	Q534_2010_ R3 110.20- 110.50	4324/2004/R3 33/11.20- 11.50	4324/2004/R3 35/17.10- 17.35	4324/2004/R3 35/17.10- 17.35	4324/2004/R3 35/53.00- 53.30	4324/2004/R3 35/99.50- 99.80	TAH\$-2004- 45-1	TAH\$-2004- 46	TAH\$-2004- 67-2
La	2,49	0,59	0,48	0,47	1,09	0,23	0,58	0,15	0,41
Ce	1,16	1,51	1,42	1,38	3,52	0,73	1,82	0,62	1,09
Pr	1,19	0,21	0,20	0,21	0,48	0,10	0,26	0,11	0,16
Nd	1,16	1,18	1,01	0,95	2,24	0,47	1,26	0,67	0,82
Sm	1,42	0,39	0,30	0,32	0,70	<0.2	0,38	0,36	0,28
Eu	1,51	0,16	<0,1	<0,1	0,22	<0,1	0,13	<0,1	<0,1
Gd	1,61	0,59	0,41	0,40	0,95	0,23	0,55	0,60	0,41
Tb	1,70	0,1	<0,1	<0,1	0,15	<0,1	<0,1	0,11	<0,1
Dy	1,79	0,71	0,39	0,46	1,05	0,27	0,60	0,70	0,46
Ho	1,83	0,16	<0,1	<0,1	0,22	<0,1	0,12	0,15	0,11
Er	1,81	0,46	0,25	0,26	0,64	0,19	0,38	0,44	0,31
Tm	1,84	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Yb	1,86	0,48	0,26	0,27	0,62	0,17	0,40	0,37	0,34
Lu	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1



	Jänisaho	Pyyvaara	Pyyvaara	Ällävaara	Kolin- vaara	Kolin- vaara	Säkki- koski	Näätä- vaara	Jurtti
	TAH\$-2005- 133-2	TAH\$-2006- 248	TAH\$-2006- 250	TAH\$-2005- 141	TAH\$-2006- 125	TAH\$-2006- 129	TAH\$-2006- 178	TAH\$-2001- 47.1	M52/4323/03/ R301/44.90- 45.15
<b>La</b>	0,37	1,14	1,35	0,79	0,15	0,32	0,76	0,21	1,07
<b>Ce</b>	1,27	3,55	4,04	2,51	0,65	1,17	1,59	0,67	2,92
<b>Pr</b>	0,20	0,58	0,66	0,39	<0,1	0,19	0,20	<0,1	0,49
<b>Nd</b>	1,00	3,03	3,50	2,14	0,56	1,10	0,95	0,34	2,45
<b>Sm</b>	0,41	0,99	1,17	0,73	0,25	0,41	0,26	<0,2	0,81
<b>Eu</b>	0,11	0,37	0,43	0,30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,17
<b>Gd</b>	0,60	1,42	1,73	1,07	0,36	0,62	0,43	<0,15	1,37
<b>Tb</b>	0,10	0,24	0,30	0,19	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	0,2
<b>Dy</b>	0,75	1,71	2,00	1,31	0,43	0,73	0,45	0,11	1,23
<b>Ho</b>	0,15	0,36	0,42	0,28	<0,1	0,16	0,10	<0,1	0,29
<b>Er</b>	0,43	1,08	1,27	0,81	0,28	0,48	0,30	<0,15	0,78
<b>Tm</b>	<0,1	0,16	0,18	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,13
<b>Yb</b>	0,45	1,08	1,21	0,84	0,27	0,47	0,32	<0,15	0,74
<b>Lu</b>	<0,1	0,16	0,18	0,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1

	Likorinne	Koskiva- ra	Jamali	Jamali	Jamali	Suolame- ri	Suolame- ri	Suolame- ri	Suolame- ri
	TAH\$-2004-4	TAH\$-2002- 38	M52/4314/R3 04/137.30- 137.50	M52/4314/02/ R304/159.00- 159.20	M52/4314/02/ R304/170.10- 170.30	P543/2011/R 1/13.70-13.90	P543/2011/R 1/31.40-33.40	P543/2011/R 1/63.70-64.70	P543/2011/R 1/94.30-95.30
<b>La</b>	0,53	6,29	0,86	1,68	0,18	19,7	4,46	6,75	1,74
<b>Ce</b>	1,65	16,3	2,94	3,66	0,43	45,6	11,9	21,8	6,54
<b>Pr</b>	0,25	1,83	0,53	0,55	0,06	6,11	1,70	3,26	1,08
<b>Nd</b>	1,18	6,45	2,98	3,06	<0,25	27,0	7,98	14,8	5,55
<b>Sm</b>	0,48	0,94	0,85	1,04	<0,2	5,45	2,01	3,53	1,63
<b>Eu</b>	<0,1	<0,1	0,31	0,2	<0,1	1,48	0,53	0,70	0,43
<b>Gd</b>	0,69	0,89	1,17	1,57	<0,15	4,25	1,89	3,10	1,56
<b>Tb</b>	0,13	0,12	0,15	0,23	<0,1	0,49	0,26	0,41	0,22
<b>Dy</b>	0,92	0,67	1,13	1,63	<0,1	2,41	1,40	2,21	1,19
<b>Ho</b>	0,19	0,13	0,19	0,25	<0,1	0,39	0,26	0,40	0,23
<b>Er</b>	0,56	0,43	0,54	0,76	<0,15	1,09	0,69	1,14	0,64
<b>Tm</b>	<0,1	<0,1	0,06	0,11	<0,1	0,14	<0,1	0,15	<0,1
<b>Yb</b>	0,55	0,53	0,53	0,51	0,1	0,89	0,64	1,03	0,53
<b>Lu</b>	<0,1	<0,1	0,07	0,09	<0,1	0,12	<0,1	0,15	<0,1

	Suolameri	Suolameri	Suolameri	Suolameri	Suolameri	Suolameri	Suolameri	Louhimo
	P543/2011/R1/1 22.50-123.50	P543/2011/R1/1 37.50-137.75	P543/2011/R1/1 63.50-164.50	P543/2011/R1/1 90.60-191.00	P543/2011/R2/4 9.40-50.40	P543/2011/R2/4 9.40-50.40	P543/2011/R2/1 14.40-115.40	TAH\$-2010-8.1
<b>La</b>	1,29	1,39	0,87	17,6	2,08	1,66	0,89	0,72
<b>Ce</b>	5,78	3,70	4,77	29,0	8,97	7,48	4,42	1,90
<b>Pr</b>	1,01	0,42	0,83	2,73	1,65	1,39	0,75	0,30
<b>Nd</b>	5,31	1,71	4,41	8,22	9,03	7,37	3,87	1,45
<b>Sm</b>	1,55	0,30	1,27	1,17	2,60	2,21	1,19	0,48
<b>Eu</b>	0,25	0,36	0,24	0,41	0,41	0,35	0,31	<0,1
<b>Gd</b>	1,42	0,23	1,15	0,75	2,41	1,97	1,09	0,54
<b>Tb</b>	0,21	<0,1	0,16	<0,1	0,32	0,27	0,16	<0,1
<b>Dy</b>	1,11	0,13	0,86	0,36	1,78	1,52	0,88	0,44
<b>Ho</b>	0,21	<0,1	0,16	<0,1	0,33	0,28	0,16	<0,1
<b>Er</b>	0,56	<0,15	0,46	<0,15	0,90	0,78	0,45	0,25
<b>Tm</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	0,11	<0,1	<0,1
<b>Yb</b>	0,51	<0,15	0,39	<0,15	0,83	0,72	0,38	0,25
<b>Lu</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,12	0,10	<0,1	<0,1

# Liite 4. Elektronimikroanalyysit: silikaatit ja oksidit

Paino-%															Näyte / rengas / kommentti
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	NiO	ZnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	
43,03	0,02	0,00	0,00	0,00	2,73	0,08	41,74	0,00	0,01	0,01	0,22	0,29	0,00	88,14	1113833_rengas1_serpentiinimineraali1
44,22	0,05	1,34	0,10	0,00	3,06	0,02	38,68	0,00	0,01	0,01	0,06	0,26	0,00	87,81	1113833_rengas1_serpentiinimineraali2
0,00	0,34	0,00	6,74	0,06	85,67	0,18	0,58	0,00	0,00	0,00	0,29	0,12	0,00	93,99	1113833_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,29	0,00	6,38	0,04	85,64	0,19	0,53	0,00	0,01	0,00	0,26	0,14	0,01	93,49	1113833_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,01	0,26	0,00	5,80	0,05	86,36	0,17	0,41	0,00	0,08	0,00	0,27	0,10	0,00	93,53	1113833_rengas1_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,31	0,00	6,76	0,05	85,60	0,18	0,53	0,00	0,03	0,00	0,27	0,14	0,00	93,87	1113833_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,39	0,01	6,99	0,06	85,05	0,20	0,57	0,00	0,05	0,00	0,27	0,11	0,00	93,71	1113833_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx
0,00	1,40	0,04	5,59	0,25	86,11	0,10	0,34	0,00	0,02	0,00	0,22	0,04	0,00	94,12	1113835_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx
0,04	0,29	0,05	5,49	0,26	86,16	0,04	0,19	0,00	0,00	0,00	0,23	0,09	0,03	92,88	1113835_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,31	0,07	5,06	0,26	86,97	0,04	0,26	0,00	0,01	0,00	0,25	0,04	0,00	93,25	1113835_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	50,31	0,00	0,26	0,24	44,29	1,05	2,63	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	98,85	1113835_rengas2_anisotrooppinen osue = ilmeniitti
0,00	1,09	0,10	5,25	0,28	86,13	0,10	0,30	0,00	0,00	0,00	0,23	0,03	0,00	93,52	1113835_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,01	49,52	0,00	0,32	0,25	44,94	1,01	2,65	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,02	98,79	1113835_rengas2_2 = ilmeniitti
0,00	0,32	0,08	5,26	0,27	86,82	0,03	0,20	0,00	0,00	0,00	0,26	0,08	0,02	93,33	1113835_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	90,48	0,25	1,48	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	92,48	1113840_rengas1_1 = FeOx
0,00	3,26	0,00	0,78	0,13	88,04	0,16	0,61	0,00	0,01	0,00	0,17	0,08	0,00	93,24	1113840_rengas2_2 = FeOx
0,02	0,13	0,03	0,70	0,12	91,57	0,00	0,15	0,00	0,02	0,01	0,20	0,06	0,01	93,03	1113840_rengas2_3 = FeOx
0,01	0,32	0,00	0,90	0,15	91,15	0,01	0,13	0,00	0,00	0,00	0,18	0,13	0,00	92,99	1113840_rengas2_4 = FeOx
0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	91,85	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,21	0,03	92,19	1113840_rengas3_vyöhykkeellinen FeOx_alue1
13,16	0,00	0,00	0,00	0,01	70,63	0,11	0,16	0,06	0,00	0,00	0,39	0,16	0,00	84,68	1113840_rengas3_vyöhykkeellinen FeOx_alue2 = götiitti
0,00	1,90	0,12	16,87	0,21	74,20	0,34	0,72	0,00	0,00	0,00	0,46	0,22	0,02	95,06	1113841_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx
0,02	1,84	0,10	16,09	0,24	74,41	0,38	0,52	0,00	0,02	0,00	0,43	0,23	0,00	94,30	1113841_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,05	1,69	0,13	16,36	0,21	74,13	0,32	0,72	0,00	0,00	0,00	0,44	0,26	0,02	94,34	1113841_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
39,30	0,02	0,00	0,00	0,00	14,54	0,28	45,71	0,01	0,00	0,00	0,38	0,23	0,00	100,47	1113841_rengas2_oliviini
0,01	1,58	0,12	16,25	0,24	74,53	0,34	0,67	0,00	0,04	0,00	0,45	0,30	0,00	94,53	1113841_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx
0,00	2,10	0,05	13,88	0,36	74,22	0,18	0,51	0,00	0,02	0,00	0,37	0,43	0,04	92,17	1113837_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx
0,00	2,06	0,11	14,57	0,38	73,75	0,21	0,61	0,00	0,00	0,00	0,33	0,42	0,00	92,43	1113837_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,00	1,98	0,11	14,63	0,38	75,76	0,19	0,56	0,00	0,00	0,00	0,33	0,31	0,00	94,26	1113837_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	2,14	0,11	14,43	0,36	75,51	0,20	0,66	0,00	0,00	0,00	0,35	0,35	0,00	94,10	1113837_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,00	2,27	0,06	14,66	0,38	75,07	0,20	0,49	0,00	0,00	0,01	0,34	0,30	0,01	93,78	1113837_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,84	0,02	5,98	0,14	85,57	0,13	0,60	0,00	0,01	0,00	0,31	0,11	0,00	93,71	1113838_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx
0,00	1,24	0,04	5,96	0,14	85,25	0,21	0,59	0,00	0,00	0,00	0,34	0,11	0,00	93,87	1113838_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,72	0,03	5,84	0,14	86,15	0,15	0,57	0,00	0,00	0,00	0,32	0,09	0,00	94,01	1113838_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	1,04	0,06	5,82	0,14	85,53	0,19	0,69	0,00	0,00	0,00	0,30	0,13	0,00	93,89	1113838_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,65	0,00	5,90	0,13	86,19	0,15	0,51	0,00	0,00	0,00	0,35	0,08	0,00	93,97	1113838_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx
0,00	51,92	0,00	0,15	0,23	43,50	0,69	2,75	0,08	0,04	0,00	0,04	0,18	0,00	99,58	1113850_rengas1_1 = ilmeniitti
38,28	0,00	0,01	0,00	0,02	22,43	0,33	38,84	0,00	0,00	0,00	0,28	0,12	0,03	100,35	1113850_rengas2_oliviini
54,06	0,07	2,13	0,08	0,01	12,56	0,26	29,64	0,15	0,01	0,00	0,05	0,13	0,01	99,17	1113850_rengas3_cpx
53,99	0,08	2,03	0,07	0,01	13,70	0,33	28,86	0,14	0,00	0,00	0,03	0,13	0,01	99,38	1113850_rengas3_opx
0,00	51,73	0,00	0,14	0,25	44,03	0,74	2,47	0,02	0,00	0,00	0,06	0,12	0,00	99,56	1113850_rengas3_2 = ilmeniitti

Paino-%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	NiO	ZnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Näyte / rengas / kommentti
0,00	51,64	0,00	0,16	0,26	43,54	0,68	2,69	0,04	0,00	0,00	0,06	0,14	0,00	99,21	1113850_rengas3_3 = ilmeniitti
0,00	0,26	0,07	4,67	0,11	85,93	0,16	0,80	0,00	0,00	0,00	0,39	0,23	0,01	92,64	<b>1113849_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx</b>
0,03	0,30	0,14	4,79	0,12	85,82	0,18	1,17	0,00	0,00	0,00	0,39	0,15	0,00	93,09	1113849_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx-profilili
0,01	0,30	0,12	4,85	0,12	85,61	0,21	1,22	0,00	0,01	0,00	0,38	0,12	0,00	92,95	1113849_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx-profilili
0,00	0,26	0,10	4,82	0,12	85,89	0,18	1,13	0,00	0,05	0,01	0,40	0,13	0,00	93,10	1113849_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx-profilili
0,00	0,31	0,12	4,79	0,12	85,58	0,21	0,88	0,00	0,00	0,00	0,40	0,17	0,00	92,57	1113849_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx-profilili
0,00	0,32	0,11	4,64	0,12	86,08	0,20	1,05	0,01	0,00	0,00	0,39	0,23	0,01	93,15	1113849_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx-profilili
0,00	0,22	0,09	4,68	0,12	85,85	0,16	1,16	0,00	0,00	0,00	0,39	0,13	0,00	92,79	1113849_rengas2a_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,24	0,09	4,63	0,12	85,85	0,16	1,06	0,00	0,05	0,00	0,39	0,14	0,03	92,77	1113849_rengas2a_4 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,27	0,11	4,66	0,13	85,51	0,16	1,11	0,00	0,02	0,00	0,37	0,20	0,00	92,54	1113849_rengas2b_Cr-pit. FeOx
0,00	0,07	0,01	3,53	0,08	89,16	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,16	0,02	0,02	93,16	<b>1113853_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx</b>
0,00	0,01	0,01	3,49	0,06	89,39	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,14	0,07	0,02	93,21	1113853_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,02	0,00	3,59	0,09	89,76	0,04	0,00	0,02	0,02	0,00	0,13	0,01	0,00	93,68	1113853_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,01	0,02	3,49	0,05	89,41	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,16	0,03	0,00	93,24	1113853_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,01	49,72	0,00	0,16	0,22	43,54	5,31	0,37	0,00	0,00	0,00	0,02	0,13	0,01	99,48	1113853_rengas2_ilmeniittiI
0,00	0,95	0,01	5,30	0,19	84,86	0,06	0,10	0,00	0,00	0,00	0,11	0,15	0,00	91,74	<b>1113854_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx</b>
0,01	0,32	0,01	4,67	0,16	85,69	0,06	0,02	0,04	0,02	0,00	0,12	0,18	0,00	91,30	1113854_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,01	1,17	0,11	9,22	0,23	81,08	0,25	0,20	0,00	0,02	0,00	0,13	0,20	0,03	92,66	1113854_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	2,58	0,18	15,78	0,29	73,51	0,56	0,34	0,00	0,02	0,00	0,12	0,36	0,04	93,80	1113854_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,00	1,03	0,05	7,36	0,20	82,85	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00	0,13	0,16	0,00	92,13	1113854_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,01	0,00	5,38	0,03	86,02	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,44	0,00	92,87	<b>1113834_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx</b>
0,00	0,02	0,02	5,51	0,03	86,44	0,26	0,00	0,00	0,00	0,01	0,71	0,39	0,00	93,38	1113834_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
0,01	0,01	0,02	5,44	0,04	86,37	0,31	0,04	0,00	0,01	0,01	0,72	0,43	0,00	93,39	1113834_rengas1_3 = Cr-pit. FeOx
0,01	57,71	0,00	0,28	0,29	38,15	0,00	0,01	0,06	0,02	0,01	0,02	0,04	0,04	96,64	1113834_rengas2_Ti-Fe-Ox
0,02	93,16	0,00	0,21	0,41	5,98	0,01	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,03	0,03	99,93	1113834_rengas2_rutiili
0,00	3,08	0,00	0,07	0,03	91,08	0,03	0,00	0,22	0,00	0,00	0,13	0,06	0,00	94,71	1113834_rengas2_FeOx
0,00	0,00	0,00	5,46	0,03	86,16	0,28	0,03	0,02	0,05	0,00	0,73	0,43	0,00	93,18	1113834_rengas2_4 = Cr-pit FeOx
0,00	0,08	0,00	2,65	0,13	89,56	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,11	0,21	0,00	92,76	<b>1113848_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx</b>
0,00	51,11	0,00	0,02	0,26	45,38	2,96	0,20	0,00	0,03	0,00	0,01	0,12	0,04	100,13	1113848_rengas1_2 = ilmeniitti
0,00	0,06	0,00	3,01	0,12	89,68	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,11	0,01	93,10	1113848_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,06	0,00	2,72	0,10	89,89	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10	0,15	0,00	93,05	1113848_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,02	50,88	0,00	0,02	0,24	45,21	2,90	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,16	0,00	99,47	1113848_rengas3_5 = ilmeniitti
36,68	0,00	0,00	0,00	0,01	29,79	0,50	33,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,09	0,01	100,23	<b>1113855_rengas1_oliviini</b>
0,00	51,40	0,00	0,09	0,26	45,59	1,35	1,16	0,00	0,01	0,00	0,00	0,15	0,00	100,01	1113855_rengas1_1 = ilmeniitti
0,00	3,89	3,05	14,96	0,64	72,23	0,42	0,51	0,00	0,01	0,00	0,09	0,27	0,00	96,06	1113855_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
48,52	0,56	8,62	0,26	0,05	7,37	0,18	18,17	11,77	1,66	0,09	0,04	0,11	0,00	97,41	1113855_rengas2_cpx
0,00	51,68	0,00	0,12	0,25	45,87	1,34	0,87	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	100,15	1113855_rengas2_3 = ilmeniitti
0,00	3,96	3,47	14,96	0,65	71,93	0,51	0,00	0,01	0,02	0,00	0,08	0,33	0,02	95,95	1113855_rengas4_1 = Cr- ja Ti-pit. FeOx
0,00	4,15	3,40	14,44	0,69	71,64	0,40	0,38	0,01	0,00	0,00	0,09	0,29	0,00	95,49	1113855_rengas4_2 = Cr- ja Ti-pit. FeOx
15,81	0,03	0,55	0,02	0,00	69,00	0,00	0,09	0,10	0,03	0,07	0,21	0,19	0,00	86,10	1113855_rengas4_3 = götiitti
0,00	0,05	0,00	3,89	0,06	88,78	0,04	0,06	0,00	0,00	0,00	0,24	0,05	0,00	93,18	<b>1113842_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx</b>

Pai- no-%															Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Näyte / rengas / kommentti
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	NiO	ZnO					
0,00	0,04	0,00	3,38	0,07	89,22	0,02	0,03	0,00	0,04	0,00	0,21	0,04	0,00	93,04	1113842_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx 1113842_rengas2_Cr-pit. FeOx- sulkeumana kiiusussa		
0,00	0,04	0,00	2,48	0,05	88,95	0,08	0,35	0,00	0,01	0,01	0,18	0,01	0,00	92,17			
0,00	0,06	0,01	3,29	0,06	89,35	0,03	0,05	0,00	0,03	0,00	0,24	0,10	0,01	93,23		1113842_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx	
0,00	0,03	0,01	3,48	0,04	89,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,03	0,00	92,91	1113842_rengas3_4 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,02	0,00	3,23	0,06	89,49	0,05	0,02	0,00	0,01	0,00	0,19	0,07	0,02	93,16	1113842_rengas3_5 = Cr-pit. FeOx		
0,01	1,63	0,02	7,73	0,65	83,06	0,16	0,29	0,00	0,04	0,00	0,18	0,13	0,00	93,91	1113852_rengas1_Cr-pit. FeOx 1113852_rengas1_cpx? (tremolliitti- aktinoliitti-sarjan amfiboli koostumuk- seltaan)		
51,43	0,31	5,09	0,14	0,04	4,93	0,12	21,00	12,00	1,28	0,13	0,08	0,15	0,00	96,71	1113852_rengas2_oliiviini		
37,86	0,00	0,00	0,00	0,00	20,60	0,30	40,49	0,00	0,02	0,00	0,25	0,11	0,00	99,63	1113852_rengas3_ilmeniitti1		
0,00	51,21	0,00	0,05	0,25	45,35	1,24	1,41	0,00	0,04	0,00	0,04	0,07	0,02	99,69	1113852_rengas3_ilmeniitti2		
0,00	50,85	0,00	0,06	0,23	45,55	1,34	1,15	0,00	0,02	0,00	0,04	0,06	0,01	99,30	1113863_rengas1_muuttunut ortopyrokseeni (serpentiini, antigio- riitti)		
44,47	0,08	0,68	0,18	0,01	14,67	0,22	21,23	0,49	0,02	0,12	0,00	0,16	0,00	82,32	1113857_rengas1_Cr-pit. FeOx1		
0,00	0,08	0,01	7,93	0,03	84,93	0,27	0,08	0,00	0,00	0,00	0,12	0,29	0,06	93,81	1113857_rengas1_Cr-pit. FeOx2		
0,00	0,07	0,02	8,18	0,03	84,80	0,30	0,09	0,00	0,00	0,00	0,13	0,33	0,00	93,95	1113857_rengas2_2 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,18	0,08	15,48	0,05	76,97	0,70	0,25	0,00	0,00	0,00	0,13	0,63	0,00	94,47	1113857_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,18	0,07	15,99	0,07	76,29	0,73	0,25	0,00	0,04	0,00	0,11	0,63	0,00	94,36	1113857_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,15	0,07	15,92	0,06	76,18	0,73	0,16	0,00	0,01	0,00	0,13	0,74	0,00	94,17	1113857_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,06	0,02	9,05	0,06	83,19	0,36	0,09	0,00	0,00	0,00	0,16	0,40	0,01	93,40	1113846_rengas1_oliiviini		
38,95	0,00	0,00	0,00	0,01	18,41	0,29	42,64	0,00	0,00	0,00	0,24	0,16	0,00	100,71	1113846_rengas3_1 = Cr-pit. FeOx		
0,02	0,64	0,04	2,26	0,34	89,48	0,02	0,07	0,00	0,00	0,01	0,22	0,06	0,00	93,15	1113846_rengas3_2 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,22	0,03	2,29	0,33	89,83	0,01	0,08	0,00	0,01	0,00	0,20	0,07	0,00	93,07	1113846_rengas3_3 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,57	0,00	2,41	0,33	89,73	0,03	0,17	0,00	0,00	0,00	0,20	0,07	0,00	93,51	1113846_rengas3_4 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,95	0,03	2,43	0,32	88,78	0,05	0,13	0,00	0,04	0,00	0,20	0,04	0,01	92,99	1113846_rengas3_5 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,74	0,00	2,41	0,35	89,29	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,07	0,00	93,14	1113858_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx		
0,00	1,65	0,40	8,50	0,32	82,35	0,20	0,55	0,00	0,01	0,00	0,34	0,11	0,00	94,44	1113858_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx_profiili		
0,01	1,66	0,38	8,27	0,32	82,48	0,20	0,45	0,00	0,00	0,00	0,37	0,13	0,00	94,28	1113858_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx_profiili		
0,00	1,51	0,39	8,05	0,33	82,98	0,17	0,44	0,00	0,04	0,00	0,36	0,11	0,00	94,40	1113858_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx_profiili		
0,00	1,50	0,42	8,09	0,31	83,32	0,16	0,40	0,00	0,00	0,00	0,37	0,09	0,00	94,66	1113858_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx_profiili		
0,00	1,49	0,40	8,08	0,32	83,34	0,17	0,44	0,00	0,00	0,00	0,35	0,13	0,00	94,72	1113858_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx_profiili		
0,00	1,49	0,39	7,91	0,29	82,58	0,16	0,44	0,00	0,00	0,00	0,36	0,18	0,00	93,80	1113858_rengas2_oliiviini		
38,94	0,01	0,00	0,01	0,00	18,08	0,34	42,38	0,01	0,01	0,00	0,35	0,19	0,00	100,32	1113858_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx		
0,00	1,53	0,48	7,98	0,29	82,78	0,22	0,56	0,00	0,00	0,00	0,35	0,10	0,00	94,31	1113858_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx		
0,00	1,80	0,33	7,81	0,32	83,18	0,20	0,48	0,00	0,00	0,00	0,38	0,14	0,05	94,69	1113858_rengas2_5 = Cr-pit. FeOx		
0,00	2,05	0,39	8,53	0,29	81,89	0,25	0,53	0,00	0,04	0,00	0,38	0,15	0,04	94,54	1113866_rengas1_oliiviini		
38,68	0,00	0,00	0,00	0,00	19,03	0,72	42,07	0,00	0,00	0,00	0,09	0,11	0,00	100,70	1113866_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx		
0,03	1,58	0,01	5,08	0,20	86,15	0,30	0,27	0,02	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	93,87	1113866_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx		
0,00	1,13	0,05	4,94	0,16	86,87	0,24	0,26	0,05	0,00	0,00	0,10	0,08	0,00	93,88	1113866_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx		
0,00	1,74	0,00	3,84	0,14	86,94	0,30	0,30	0,10	0,02	0,01	0,07	0,13	0,00	93,58	1113866_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx		
0,01	1,12	0,00	3,01	0,14	88,16	0,16	0,23	0,04	0,04	0,01	0,08	0,11	0,00	93,09	1113866_rengas3_5 = Cr-pit. FeOx		
0,00	1,53	0,02	6,06	0,14	85,76	0,31	0,32	0,00	0,02	0,00	0,10	0,04	0,00	94,31	1113866_rengas3_cpx		
52,34	0,10	0,74	0,59	0,02	5,67	0,15	17,20	23,05	0,14	0,01	0,03	0,09	0,00	100,12	1113866_rengas3_cpx		
53,16	0,05	0,68	0,14	0,00	3,29	0,14	17,22	23,76	0,19	0,00	0,00	0,08	0,03	98,74	Ku33337_rengas2_1 = Cr-pit. FeOx		
0,00	0,15	0,03	5,61	0,09	87,33	0,13	0,00	0,00	0,02	0,00	0,15	0,00	0,00	93,50	Ku33337_rengas2_2 = Cr-pit. FeOx		
0,00	1,72	0,02	7,74	0,11	83,78	0,49	0,18	0,00	0,03	0,00	0,10	0,13	0,00	94,30			

Pai-  
no-%

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	NiO	ZnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total	Näyte / rengas / kommentti
0,01	0,47	0,05	10,98	0,14	81,95	0,50	0,23	0,00	0,00	0,00	0,14	0,22	0,00	94,69	Ku33337_rengas3_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,28	0,02	7,05	0,08	85,68	0,26	0,15	0,00	0,02	0,00	0,14	0,11	0,00	93,80	Ku33337_rengas3_4 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,16	0,04	4,80	0,08	88,04	0,12	0,04	0,00	0,03	0,00	0,14	0,03	0,00	93,47	Ku33337_rengas3_5 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,08	0,00	2,35	0,27	90,23	0,07	0,18	0,00	0,00	0,00	0,21	0,01	0,05	93,46	<b>Ku31728_rengas1_1 = Cr-pit. FeOx</b>
0,00	0,09	0,01	1,53	0,23	90,66	0,05	0,07	0,01	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	92,88	Ku31728_rengas1_2 = Cr-pit. FeOx
54,45	0,11	0,57	0,08	0,03	3,63	0,16	17,49	22,82	0,08	0,01	0,04	0,01	0,00	99,49	Ku31728_rengas2_cpx
0,00	0,08	0,00	0,54	0,28	92,00	0,04	0,11	0,01	0,03	0,00	0,20	0,03	0,03	93,36	Ku31728_rengas3_3 = FeOx
0,00	0,08	0,00	0,55	0,29	92,17	0,02	0,05	0,05	0,03	0,00	0,18	0,00	0,00	93,41	Ku31728_rengas4_4 = FeOx
0,00	0,07	0,00	0,92	0,25	91,85	0,05	0,06	0,00	0,11	0,00	0,16	0,03	0,04	93,53	Ku31728_rengas4_5 = FeOx
40,16	0,00	0,00	0,00	0,00	10,20	0,30	48,58	0,00	0,00	0,00	0,16	0,03	0,00	99,44	<b>Ku32480_rengas1_oliiviini</b>
40,40	0,00	0,00	0,00	0,00	10,22	0,31	48,87	0,00	0,00	0,00	0,16	0,03	0,00	100,00	Ku32480_rengas1_oliiviini
42,45	0,01	0,00	0,00	0,00	13,38	0,34	27,02	0,21	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	83,46	Ku32480_rengas1_muuttunut oliiviini (serpentiini, antigoriitti)
0,01	0,22	0,01	3,53	0,08	88,36	0,10	0,36	0,00	0,02	0,01	0,26	0,07	0,02	93,04	Ku32480_rengas2_1 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,27	0,01	3,16	0,10	89,58	0,09	0,40	0,00	0,01	0,00	0,20	0,04	0,06	93,91	Ku32480_rengas2_2 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,11	0,00	2,77	0,07	90,68	0,00	0,17	0,00	0,04	0,00	0,24	0,00	0,00	94,08	Ku32480_rengas2_3 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,12	0,02	2,77	0,10	90,36	0,03	0,11	0,00	0,00	0,00	0,22	0,01	0,00	93,73	Ku32480_rengas2_4 = Cr-pit. FeOx
0,00	0,07	0,00	2,86	0,07	89,96	0,04	0,47	0,00	0,02	0,00	0,14	0,05	0,00	93,68	Ku32480_rengas3_5 = Cr-pit. FeOx

Analysointiolosuhteet silikaatti- ja oksidianalyseissä: kiihdytysjännite = 20 kV, elektronisäteen virranvoimakkuus ja läpimitta = 40 nA ja 5 µm vastaavasti.

**Keskimääräiset alkuainekohtaiset määritysrajat (ppm) yllä olevissa silikaatti- ja oksidianalyseissä**

Si	Ti	Al	Cr	V	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Ni	Zn	Nb
313	331	335	254	277	595	322	536	155	654	161	292	443	752

**Hienumeroita vastaavat näytetunnukset**

kohde	näytenro	hienro
Särkivaara	TAH\$-2004-136	1113842
Teerisuo	TAH\$-2005-92	1113848
Valkealampi	TAH\$-2004-127	1113841
Hamara-aho	TAH\$-2006-219	1113854
Kiehu	M52/4324/02/R329/56.05	1113835
Lummesuo	Q534/2010/K1/60.90	1113858
Jonkeri	4324/2004/R335/53.00	1113846
Tervasvaara	TAH\$-2004-45	1113838
Karhivaara	TAH\$-2004-67.2	1113840
Jänisaho	TAH\$-2005-133.2	1113849
Pyyvaara	TAH\$-2006-248	1113855
Ällävaara	TAH\$-2005-141	1113850

kohde	näytenro	hienro
Kolinvaara	TAH\$-2006-129	1113852
Säkkikoski	TAH\$-2006-178	1113853
Näätävaara	TAH\$-2001-47	1113833
Jurtti	4323/2003/R301/60.75	ku32480
Likorinne	TAH\$-2004-4	1113837
Koskivaara	TAH\$-2002-38	1113834
Jamali	R304/137.30	ku31728
Suolameri	P542/2011/R1/31.40	1113862
	P542/2011/R1/63.70	1113863
	P542/2011/R1/163.50	1113866
Louhimo	TAH\$-2010-8	1113857
Tainiovaara	R306/40.10	ku3333337

# Liite 5. Elektronimikroanalyytit: sulfidit

Paino-%																			Näyte / rengas / kommentti
Ag	S	Cu	As	Fe	Mn	Ni	Co	Zn	Sb	Bi	Sn	Te	Hg	V	Cd	Se	Pd	Total	
0,00	35,88	0,21	0,00	62,72	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,01	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	98,93	1113835_rengas 1_magneetti- kiisu
0,03	34,48	34,38	0,01	30,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	99,41	1113835_rengas 1_pentlandiitti
0,00	38,30	0,00	0,03	60,50	0,00	0,12	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,01	1113840_rengas 1_pentlandiitti 1113837_rengas 1_ = pentlan- diitti
0,00	33,49	0,34	0,00	32,15	0,00	30,58	1,10	1,04	0,01	0,03	0,02	0,05	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	98,87	1113850_rengas 1_magneetti- kiisu
0,01	36,83	0,01	0,01	62,61	0,00	0,01	0,00	0,08	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	99,60	1113850_rengas 1_pentlandiitti
0,00	33,25	0,00	0,00	35,92	0,00	29,41	1,08	0,03	0,00	0,16	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	99,92	1113849_rengas 2b_pentlandiitti
0,02	33,47	0,00	0,00	33,42	0,00	29,98	2,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,15	1113849_rengas 2b_pentlandiitti
0,01	33,39	0,00	0,06	33,64	0,00	29,86	1,99	0,20	0,00	0,19	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	99,45	1113853_rengas 2_pentlandiitti1 1113853_rengas 2_magneetikkiisu 1
0,00	36,77	0,00	0,00	62,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	99,41	1113853_rengas 2_pyriitti1
0,00	52,79	0,00	0,00	47,53	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	100,47	1113854_rengas 1_magneetti- kiisu
0,00	39,83	0,00	0,03	59,07	0,00	0,11	0,00	0,12	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	99,24	1113854_rengas 1_pentlandiitti
0,00	33,29	0,00	0,00	31,78	0,00	32,09	1,89	0,06	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,19	1113834_rengas 1_kookas kiisu = pyriitti
0,00	52,09	0,00	0,00	46,08	0,02	0,12	0,98	0,08	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	99,44	1113834_rengas 2_milleriitti (NiS)
0,02	36,42	0,00	0,00	0,69	0,00	60,13	1,74	0,11	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	99,29	1113834_rengas 2_mahd. violariitti (Ni, Co, Fe)3 S4
0,00	41,80	0,00	0,04	6,20	0,00	38,46	11,83	0,18	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	98,62	1113848_rengas 1_pentlandiitti
0,01	33,58	0,00	0,05	29,34	0,00	35,07	1,87	0,04	0,00	0,00	0,01	0,07	0,07	0,00	0,00	0,06	0,00	100,18	1113848_rengas 1_magneetikkiisu
0,05	39,57	0,00	0,07	59,13	0,00	0,29	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	99,19	1113848_rengas 3_kuparikkiisu
0,00	34,82	34,48	0,05	30,30	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	99,72	1113855_rengas 3_magneetti- kiisu
0,00	36,61	0,00	0,00	62,99	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	99,77	1113855_rengas 3_pentlandiitti
0,00	33,66	0,18	0,00	36,09	0,00	28,76	1,54	0,04	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,34	1113855_rengas 4,4_kuparikkiisu
0,02	34,95	34,34	0,00	30,57	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	100,02	1113842_rengas 2_pyriitti
0,00	53,03	0,00	0,07	45,92	0,00	0,15	1,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,25	1113842_rengas 2_Ni-Fe- sulfidi1a (violariitti)
0,03	41,99	0,00	0,00	18,77	0,00	34,34	3,53	0,02	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,75	1113842_rengas 2_Ni-Fe- sulfidi1b (pentlandiitti)
0,02	32,85	0,00	0,03	25,22	0,00	40,39	0,06	0,06	0,00	0,13	0,00	0,08	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	98,91	1113842_rengas 3_Ni-Fe- sulfidi1a (violariitti)
0,02	42,28	0,00	0,03	18,58	0,00	34,67	4,94	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,58	1113842_rengas 3_Ni-Fe- sulfidi1b (pentlandiitti)
0,00	33,47	0,00	0,04	25,20	0,00	40,75	0,06	0,07	0,00	0,07	0,02	0,08	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	99,82	1113852_rengas 3_magneetikkiis u
0,00	35,68	0,00	0,00	62,72	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	98,46	1113852_rengas 3_pentlandiitti
0,03	32,95	0,00	0,00	35,29	0,00	30,29	1,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,01	0,00	0,07	0,00	99,80	1113863_rengas 1_magneetikkiis ul
0,00	36,60	0,00	0,00	63,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,66	1113863_rengas 1_pentlandiitti1
0,01	33,42	0,14	0,03	33,63	0,00	31,03	2,35	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,02	0,01	0,00	0,02	0,00	100,75	1113863_rengas 1_kuparikkiisu1
0,00	34,75	34,72	0,04	30,49	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	100,14	1113863_rengas 1_magneetikkiisu 2
0,00	36,51	0,00	0,06	63,11	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,18	0,01	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	99,96	1113863_rengas 1_pentlandiitti2
0,00	33,37	0,00	0,00	30,03	0,00	31,02	5,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	99,93	

Paino-%																			Näyte / rengas / kommentti
Ag	S	Cu	As	Fe	Mn	Ni	Co	Zn	Sb	Bi	Sn	Te	Hg	V	Cd	Se	Pd	Total	
0,00	34,84	34,47	0,00	30,51	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	99,97	1113857_rengas 1_kuparikaisu1
0,00	33,40	0,09	0,00	32,06	0,00	32,51	1,98	0,05	0,00	0,23	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	100,38	1113857_rengas 1_pentlandiitti1
0,00	38,36	0,00	0,00	60,59	0,00	0,20	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,26	1113857_rengas 1_magneettikiisu 1
0,00	33,03	0,00	0,03	36,80	0,00	28,62	1,00	0,05	0,00	0,11	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	99,74	1113846_rengas 2_pentlandiitti
0,00	37,38	0,00	0,08	60,87	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,43	1113846_rengas 2_magneettikiisu
0,00	33,63	0,00	0,02	39,80	0,00	22,66	3,42	0,05	0,00	0,05	0,03	0,03	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	99,78	1113866_rengas 2_pentlandiitti
0,00	35,65	0,00	0,01	62,86	0,01	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	98,63	1113866_rengas 2_magneettikiisu
0,00	52,81	0,07	0,00	46,43	0,00	0,62	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,96	Ku33337_rengas s1_pyyriitti
0,00	34,49	34,28	0,00	30,32	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,44	Ku33337_rengas 1_kuparikaisu1 (pinnaltaan hapettunut)
0,00	33,05	0,00	0,02	30,01	0,00	35,43	0,98	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	99,56	Ku33337_rengas 1_pentlandiitti2
0,00	38,88	0,00	0,00	59,35	0,01	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	98,71	Ku33337_rengas 1_magneettikiisu 1
0,00	35,06	34,88	0,00	30,86	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,82	Ku31728_rengas s3_cpy
0,00	33,57	0,19	0,00	3,85	0,00	0,67	0,22	60,53	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	99,13	Ku31728_rengas 3_ZnVä
0,06	33,66	0,10	0,03	26,35	0,00	31,56	8,60	0,19	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	100,60	Ku31728_rengas 3_pentlandiitti
0,00	52,29	0,00	0,00	47,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	99,48	Ku31728_rengas 4_haaleansininen keltainen sulfidi = pyriitti
0,05	52,48	0,00	0,05	46,90	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	99,55	Ku31728_rengas 4_sininen muuttumistulos = pyriitti2 (vain hapettumaa)
0,02	32,86	0,00	0,03	26,49	0,00	35,33	4,41	0,00	0,00	0,10	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,03	0,00	99,40	Ku31728_rengas 4_oranssi sulfidi = pentlandiitti
0,00	39,37	0,00	0,03	59,45	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,22	Ku32480_rengas s3_magneettikiisu
0,00	33,17	0,00	0,00	29,38	0,00	34,53	2,79	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,96	Ku32480_rengas 3_pentlandiitti

Analysointiolosuhteet sulfidianalyseissä: kiihdytysjännite = 20 kV, elektronisäteen virranvoimakkuus ja läpimitta = 30 nA ja 1 µm vastaavasti. Mikroanalysaattori / operaattori = Cameca SX100 / Lassi Pakkanen

Keskimääräiset alkuainekohtaiset määrittämissrajat (ppm) sulfidianalyseissä

Ag	S	Cu	As	Fe	Mn	Ni	Co	Zn	Sb	Bi	Sn	Te	Hg	V	Cd	Se	Pd
974	459	643	1373	612	375	588	402	688	397	4110	663	317	1931	349	643	1201	464

Kaikki mitatut Pd-pitoisuudet jäivät selvästi alle palladiumin määrittämissrajan (464 ppm).

Hienumeroita vastaavat näytetunnukset on listattu Liitteessä 4.